



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA
DE MÉXICO
FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES
CUAUTITLAN**

**INVERSOR CONTROLADO POR MODULACIÓN DE
ANCHO DE PULSO DIGITAL.**

TESIS.

**QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:
INGENIERO MECÁNICO ELECTRICISTA.**

PRESENTAN:

CARLOS ISRAEL JUÁREZ RANGEL.

GUMERCINDO ISRAEL MARTÍNEZ ISLAS.

ASESOR: ING. HÉCTOR MIGUEL SANTOYO MORALES.

CUAUTITLÁN IZCALLI, EDO. DE MEX.

2011



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA
DE MÉXICO
FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES
CUAUTITLAN**

**INVERSOR CONTROLADO POR MODULACIÓN DE
ANCHO DE PULSO DIGITAL.**

TESIS.

**QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:
INGENIERO MECÁNICO ELECTRICISTA.**

PRESENTAN:

**CARLOS ISRAEL JUÁREZ RANGEL.
GUMERCINDO ISRAEL MARTÍNEZ ISLAS.**

ASESOR: ING. HÉCTOR MIGUEL SANTOYO MORALES.

CUAUTITLÁN IZCALLI, EDO. DE MEX.

2011



FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLAN
 UNIDAD DE ADMINISTRACION ESCOLAR
 DEPARTAMENTO DE EXAMENES PROFESIONALES

U. N. A. M.
 ASUNTO: VOTOS APROBATORIOS
 SUPERIORES CUAUTITLAN

DRA. SUEMI RODRIGUEZ ROMO
 DIRECTORA DE LA FES CUAUTITLAN
 PRESENTE



ATN: L.A. ARACELI HERRERA HERNANDEZ
 Jefa del Departamento de Exámenes
 Profesionales de la FES Cuautitlán.

Con base en el Art. 28 del Reglamento General de Exámenes, nos permitimos comunicar a usted que revisamos la Tesis:

"Inversor Controlado Por Modulación De ancho De Pulso Digital"

Que presenta El pasante Carlos Israel Juárez Rangel

Con número de cuenta: 09322260-4 para obtener el título de:
Ingeniero Mecánico Eléctricista

Considerando que dicho trabajo reúne los requisitos necesarios para ser discutido en el EXAMEN PROFESIONAL correspondiente, otorgamos nuestro VOTO APROBATORIO.

ATENTAMENTE
 "POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"
 Cuautitlan Izcalli, Mex. a 17 de Marzo de 2011

PRESIDENTE	Ing. José Ubaldo Ramírez Urizar	
VOCAL	Ing. Juan González Vega	
SECRETARIO	Ing. Héctor Miguel Santoyo Morales	
1er SUPLENTE	Ing. Jorge Ramírez Rodríguez	
2º SUPLENTE	Ing. Petra Medel Ortega	



FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLAN
 UNIDAD DE ADMINISTRACION ESCOLAR
 DEPARTAMENTO DE EXAMENES PROFESIONALES

U.N.A.M.
 ASUNTO: VOTOS APROBATORIOS

DRA. SUEMI RODRIGUEZ ROMO
 DIRECTORA DE LA FES CUAUTITLAN
 PRESENTE

ATN: L.A. ARACELI HERRERA HERNANDEZ
 Jefa del Departamento de Exámenes
 Profesionales de la FES Cuautitlán.

Con base en el Art. 28 del Reglamento General de Exámenes, nos permitimos comunicar a usted que revisamos la Tesis:

“Inversor Controlado Por Modulación De ancho De Pulso Digital”

Que presenta El pasante Gumercindo Israel Martínez Islas

Con número de cuenta: 09828560-8 para obtener el título de:
Ingeniero Mecánico Eléctricista

Considerando que dicho trabajo reúne los requisitos necesarios para ser discutido en el EXAMEN PROFESIONAL correspondiente, otorgamos nuestro VOTO APROBATORIO.

ATENTAMENTE
 “POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU”
 Cuautitlan Izcalli, Mex. a 17 de Marzo de 2011

PRESIDENTE	Ing. José Ubaldo Ramírez Urizar	
VOCAL	Ing. Juan González Vega	
SECRETARIO	Ing. Héctor Miguel Santoyo Morales	
1er SUPLENTE	Ing. Jorge Ramírez Rodríguez	
2º SUPLENTE	Ing. Petra Medel Ortega	

DEDICATORIAS.

La concepción de este proyecto está dedicada a mis padres, pilares fundamentales en mi vida. Sin ellos, jamás hubiese podido conseguir lo que hasta ahora. Su tenacidad y lucha insaciable han hecho de ellos el gran ejemplo a seguir y destacar, no solo para mí, sino para mis hermanos y familia en general.

También dedico este proyecto a mi novia, Leticia, compañera inseparable de cada jornada. por su apoyo incondicional y por ser la alegría y fuerza que llena mi vida y tesón en momentos de decline y cansancio. A ellos este proyecto, que sin ellos, no hubiese podido ser.

A todos mis tíos, especialmente a Dante, por estar siempre dispuestos a ayudarme.

A mis abuelos, a mi “mami” por ser la persona con mas dulzura y a mis abuelos Pablo y Amada quien desde el cielo me guían y estoy seguro que en estos momentos están orgullosos de mí.

Quiero dedicar este trabajo a mi familia, por acompañarme en cada una de las locuras que he emprendido.

Carlos Israel J.

DEDICATORIAS.

Dedico este proyecto de tesis a mis padres, quienes a lo largo de mi vida han velado por mi bienestar y educación siendo mi apoyo en todo momento; Depositando su entera confianza en cada reto que se me presentaba. Es por ellos que soy lo que soy ahora.

A mi madre por haberme dado su fuerza y apoyo incondicional en todo momento. A mis hermanos que siempre me apoyan en todas mis locuras.

Gumercindo Israel

Inversor Controlado Por Modulación De Ancho De Pulso Digital

ÍNDICE

Inversor Controlado Por Modulación De Ancho De Pulso

INTRODUCCIÓN.

1.- ANTECEDENTES Y CONCEPTOS BASICOS DE LA ELECTRÓNICA DE POTENCIA	1
1.1 Antecedentes de la electrónica de potencia.	1
1.2 Definición de electrónica de potencia.	2
1.3 Dispositivos electrónicos de potencia.	3
1.3.1 Características.	3
1.3.2 Dispositivos electrónicos de potencia.	5
1.4 Análisis de señales.	23
1.4.1 Conceptos.	23
1.4.2 Clasificación de las señales.	24
1.4.3 Operaciones	27
1.4.4 Señales elementales.	29
1.5 Transformada de cualquier señal periódica.	31
1.6 Teorema de Muestreo.	34
1.7 Modulación Analógica De Pulsos.	36
1.7.1 Modulación por amplitud de pulsos (MAP).	37
1.7.2 Muestreo natural.	38
1.7.3 Muestreo instantáneo.	40
1.7.4 Recuperación de $v(t)$ del muestreo instantáneo.	43
1.8 Transformada de LAPLACE	44
1.9 TRANSFORMADA Z	47
1.9.1 Transformada Inversa de Z	50
1.10 Sistema.	52
1.10.1 Sistemas electrónicos de potencia.	52
1.10.2 Aplicación de los convertidores electrónicos de potencia.	53
1.11 Microprocesadores	53
1.11.1 Que es un microprocesador.	54
1.11.2 Que es un microcontrolador.	55
1.11.3 Diferencias entre un microprocesador y un microcontrolador	55
1.12 Que es un PIC.	56
2.- INVERSORES	58
2.1 Inversores.	58
2.2 Principio de operación de un inversor en medio y puente completo.	58
2.3 Clasificación de Inversores	59
2.4 Tipos de inversores	60
2.4.1 <i>Inversor de onda cuadrada.</i>	60
2.4.2 Inversor modulado por ancho de pulso (PWM).	61
2.4.2.1 Modulación de un solo ancho de pulso	62
2.4.2.2 Modulación de varios anchos de pulso	62
2.4.2.3 La Modulación senoidal de Ancho de Pulso (PWM)	63
2.5 <i>Propuesta de un inversor controlado por un microcontrolador.</i>	67

Inversor Controlado Por Modulación De Ancho De Pulso Digital

<u>3.- DISEÑO DE UN INVERSOR POR MODULACIÓN DE ANCHO DE PULSO</u>	68
3.1 Diseño del Inversor.	68
3.1.2 <i>Función discreta.</i>	67
3.1.3 <i>Cálculos para el diseño del inversor</i>	71
3.2 Programa del inversor	79
3.2.1 <i>Código del programa.</i>	82
<u>4.- DISEÑO DEL INVERSOR</u>	89
4.1 Diagrama de bloques de las partes o etapas del inversor	89
4.2 Diagrama del Inversor	91
<u>5.- CONSTRUCCIÓN Y COMPROBACIÓN DEL DISENO</u>	92
5.1 Construcción del inversor	92
<u>6.- CONCLUSIONES</u>	96
<u>7.- GLOSARIO</u>	97
<u>8.- BIBLIOGRAFIA.</u>	103

INTRODUCCIÓN

La función de un inversor es cambiar un voltaje de entrada de corriente directa (CD) a un voltaje simétrico de salida de corriente alterna (CA), con la magnitud y frecuencia deseada.

En los inversores ideales, las formas de onda del voltaje de salida deberían ser senoidales. Sin embargo, en los inversores reales no lo son y contienen ciertas armónicas. Para aplicaciones de baja y mediana potencia, se pueden aceptar los voltajes de onda cuadrada o casi cuadrada; para aplicaciones de alta potencia, son necesarias las formas de onda senoidales de baja distorsión. Dada la disponibilidad de los dispositivos semiconductores de potencia de alta velocidad, es posible minimizar o reducir significativamente el contenido armónico del voltaje de salida mediante diferentes técnicas de conmutación.

El uso de los inversores es muy común en aplicaciones industriales tales como la propulsión de motores de CA. De velocidad variable, la calefacción por inducción, las fuentes de respaldo y las de poder, alimentaciones ininterrumpibles de potencia, y sistemas generadores de energía alterna como lo son celdas fotovoltaicas, generadores eólicos, etc.

Los inversores se pueden clasificar básicamente en dos tipos: *Inversores monofásicos e inversores trifásicos*. Cada dispositivo puede utilizar dispositivos con activación y desactivación controlada. Estos inversores utilizan por lo general señales de control PWM (Modulación de Ancho de Pulso), para producir un voltaje de salida en CA.

Los inversores de Modulación de ancho de pulso (PWM). Son capaces de controlar la magnitud y frecuencia de la señal de salida mediante

Inversor Controlado Por Modulación De Ancho De Pulso Digital

la modulación del ancho de pulso de los interruptores de inversor. Para ello existen varios circuitos que se encargan de producir voltajes de CA con forma de onda senoidal y bajo contenido de armónicos.

La elección de un control por modulación de ancho de pulso es la mejor opción, pues esta representa una solución simple y económica, y con una señal de salida sin componentes armónicas por lo cual es la solución idónea para una generación de un voltaje de CA de frecuencia y amplitud deseada a partir de un voltaje de CD.

CAPITULO I

ANTECEDENTES Y CONCEPTOS BASICOS DE LA ELECTRÓNICA DE POTENCIA

1.1 Antecedentes de la electrónica de potencia.

Tomas Edison descubrió en 1883 el principio del diodo, mientras trabajaba en la lámpara incandescente y otros experimentos, colocó una lámpara de metal en el foco cerca del filamento luminiscente, descubrió que colocando una placa a una fuente de tensión externa fluye una corriente a través de la lámpara cada vez que la placa estaba conectada al lado positivo de esa fuente de energía, si la placa era negativo la corriente no fluía.



FIGURA 1.1

En ese entonces la teoría del electrón no había sido propuesta todavía y no se puede ofrecer ninguna explicación para este fenómeno solo se le llamo el EFECTO EDISON. Años más tarde Sir J.J. Thompson proporciono una explicación adecuada suponiendo que los electrones salían por ebullición del filamento de la lámpara de Edison y eran atraídos hacia la placa positiva.

Durante muchos años se considero que la corriente en común fluía de más a menos a través de un circuito, pero ahora se considera que es la transferencia de energía por medio de los electrones y se cree que el flujo electrónico es siempre de negativo a positivo.

La electrónica se desarrollo aún más en 1900 con la invención del tríodo por parte de Lee de Forest, que permitió el desarrollo de la radio, la telefonía de larga distancia y las películas sonoras. En 1948 inicia la primera revolución electrónica con la invención del transistor de silicio en los Bell Telephone laboratorios por Bardeen, Brattain y Schockle la mayoría de las tecnologías electrónicas actuales tienen su origen en esta invención del transistor, basada en semiconductores, que desplazaría completamente a la válvula termoiónica o válvula de vacío.

La electrónica de potencia empezó, con la introducción del rectificador de arco de mercurio. Luego aparecieron, gradualmente el rectificador de tanque metálico, el rectificador de tubo al alto vacio de rejilla controlada, el ignitrón, el fanotrón y el tiratrón. Estos dispositivos se aplicaron al control de la energía hasta la década de 1950.

Inversor Controlado Por Modulación De Ancho De Pulso Digital

En 1956 los laboratorios Bell Telephone desarrollaron el transistor de disparo PNPN que se definió como un Tiristor o rectificador controlado de silicio (SCR).

En 1958 se desarrolla la segunda revolución electrónica con la comercialización del tiristor por General Electric Company, la revolución de la electrónica de potencia nos está dando la capacidad de dar forma y controlar grandes cantidades de energía con una eficiencia cada vez mayor.

En 1958 se desarrollo el primer circuito integrado, que integraba seis transistores en un único chip. En 1970 se desarrollo el primer microprocesador, Intel 4004.

Desde que se desarrollo el primer tiristor de rectificador controlado de silicio (SCR), ha habido grandes adelantos en los dispositivos semiconductores de potencia. Hasta 1970, los tiristores convencionales se habían utilizado en forma exclusiva para el control de la energía en aplicaciones industriales. A partir de entonces se desarrollaron varios tipos de dispositivos semiconductores de potencia que tienen aplicaciones, en audio, computación y video.

La electrónica de potencia en la actualidad tiene una gran variedad de tareas. Los principales usos de los circuitos electrónicos son el control de procesos, la conversión y la distribución de la energía eléctrica. Estos dos usos implican la creación o la detección de campos electromagnéticos y corrientes eléctricas.

1.2 Definición de electrónica de potencia.

Se denomina electrónica de potencia a la rama de la electrónica que refiere a la aplicación de dispositivos electrónicos, al control y transformación de potencia eléctrica. Esto incluye tanto aplicaciones en sistemas de control como de suministro eléctrico a consumos industriales o incluso la interconexión de sistemas eléctricos de potencia.

El principal objetivo de esta disciplina es el procesamiento de energía con la máxima eficiencia posible, por lo que se evitan utilizar elementos resistivos, potenciales generadores de pérdidas por efecto joule. Los principales dispositivos utilizados por tanto son bobinas y condensadores, así como semiconductores trabajando en modo corte/saturación (on/off).

La electrónica de potencia aprovecha las propiedades de conmutación inherentes de los semiconductores, las cuales son muy superiores a las de sus contrapartes electromecánicas, son más rápidos, eficientes, confiables, económicos, livianos y compactos, y tienen una mayor disponibilidad y vida útil. Además, se presentan a la integración y pueden ser fácilmente controlados desde todo tipo de dispositivos, circuitos y sistemas digitales.

Adicionalmente, con los notables avances en los campos de la microelectrónica y los semiconductores de potencia, muchos problemas que eran difíciles de tratar por otros métodos, encuentran la solución fácil y conveniente.

Inversor Controlado Por Modulación De Ancho De Pulso Digital

Cada vez más, la electrónica de potencia condiciona la forma como el hombre moderno produce, transporta distribuye y utiliza la electricidad. Esto nos reconfirma el liderazgo de la electrónica en todos los campos de la actividad humana.

1.3 Dispositivos electrónicos de potencia.

1.3.1 Características.

Conductores eléctricos.

Se llaman conductores eléctricos a los materiales que puestos en contacto con un cuerpo cargado de electricidad transmite ésta a todos los puntos de su superficie. Generalmente elementos, aleaciones o compuestos con electrones libres que permiten el movimiento de cargas Los mejores conductores eléctricos son los metales y sus aleaciones.

Los electrones externos de un átomo son conocidos como electrones de valencia y están unidos al átomo más débilmente, que los electrones ubicados más cerca del núcleo; como en los Metales, que en general tienen menos de 4 electrones de valencia en su órbita exterior como por ejemplo, el aluminio con 3 y el cobre con 1. Ejemplo de conductores en Figura 1.3.1a.



Aisladores eléctricos.

El aislamiento eléctrico se produce cuando se cubre un elemento eléctrico con un material que no es conductor de la electricidad, es decir, un material que resiste el paso de la corriente a través del elemento que recubre y lo mantiene en su trayectoria a lo largo del conductor. Dicho material se denomina aislante eléctrico.

Como el vidrio, el caucho y la madera, se comportan en forma contraria, los electrones de valencia externos están fuertemente unidos a los átomos y no se pueden mover libremente a través del sólido, a menos que se aplique un voltaje extremadamente alto no fluirá corriente a través de él; los átomos de los elementos aisladores en general, tienen más de 4 electrones de valencia en su órbita exterior. Ejemplo de aisladores en Figura 1.3.1b

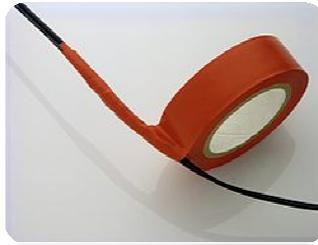


FIGURA 1.3.1b

Semiconductores.

Un semiconductor es una sustancia que se comporta como conductor o como aislante dependiendo de la energía externa en el que se encuentre. Los electrones de valencia de los semiconductores no se encuentran libres en el caso de un semiconductor, pero tampoco están unidos como en el caso de un aislador, en un semiconductor los electrones de valencia son compartidos por los átomos y se conoce como enlace covalente y es este proceso el que propicia muchas de las propiedades de los semiconductores.

Existen:

- Semiconductores tipo N.

Un Semiconductor tipo N se obtiene llevando a cabo un proceso de dopado añadiendo un cierto tipo de átomos al semiconductor para poder aumentar el número de portadores de carga libres (en este caso negativas o *electrones*).

Cuando el material dopante es añadido, éste aporta sus electrones más débilmente vinculados a los átomos del semiconductor. Este tipo de agente dopante es también conocido como *material donante* ya que da algunos de sus electrones. El propósito del N es el de producir abundancia de electrones portadores en el material

- Semiconductores tipo P.

Un Semiconductor tipo P se obtiene llevando a cabo un proceso de dopado, añadiendo un cierto tipo de átomos al semiconductor para poder aumentar el número de portadores de carga libres (en este caso positivos o *huecos*).

Cuando el material dopante es añadido, éste libera los electrones más débilmente vinculados de los átomos del semiconductor. Este agente dopante es también conocido como *material aceptor* y los átomos del semiconductor que han perdido un electrón son conocidos como huecos.

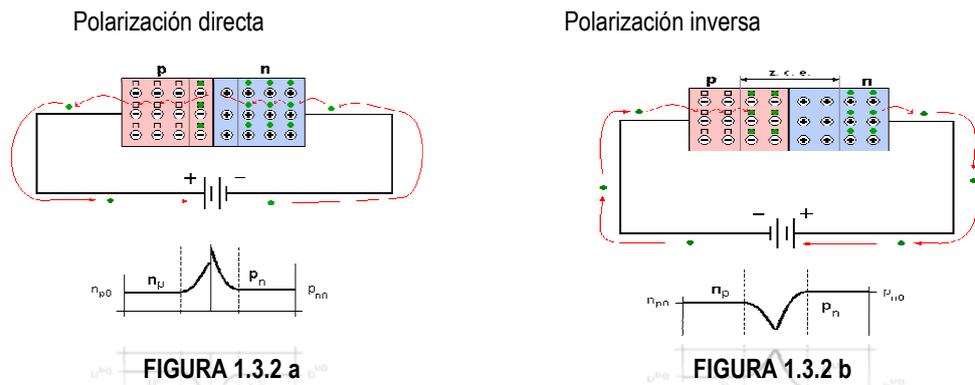
Inversor Controlado Por Modulación De Ancho De Pulso Digital

1.3.2 Dispositivos electrónicos de potencia.

Diodo pn ó Unión pn.

Los diodos pn son uniones de dos materiales semiconductores extrínsecos tipos p y n, por lo que también reciben la unión pn. Hay que destacar que ninguno de los dos cristales por separado tiene carga eléctrica, ya que en cada cristal, el número de protones y electrones es el mismo, de lo que podemos decir que los dos cristales, tanto como el p, como el n, son neutros (su carga neta es 0).

El funcionamiento de este diodo, a grandes rasgos es el siguiente: En polarización directa o positiva figura 1.3.2a, el ánodo es positivo respecto al cátodo, el diodo conduce presentando una pequeña caída de voltaje a través de él, el diodo conduce si el voltaje aplicado es mayor que el voltaje de umbral. Cuando se polariza en inversa figura 1.3.2b, el cátodo es positivo con respecto al ánodo, se puede considerar como un circuito abierto, fluye una pequeña corriente inversa que es en mili Amper o micro Amper y que crece en función al voltaje hasta llegar a un voltaje de avalancha o Zener.



Cuando se alcanza la tensión inversa se produce un aumento drástico de la corriente que puede llegar a destruir al positivo; al extremo p, se le denomina ánodo, representándose con la letra A, mientras que la zona n, el cátodo se representa por la letra C ó K.

Representación simbólica del diodo pn



Diodos de potencia.

Inversor Controlado Por Modulación De Ancho De Pulso Digital

Uno de los dispositivos más importantes de los circuitos de potencia son los diodos (figura 1.3.2 c), aunque tienen, entre otras, las siguientes limitaciones: son dispositivos unidireccionales, no pudiendo circular la corriente en sentido contrario al de conducción. El único procedimiento de control es invertir el voltaje entre ánodo y cátodo.

Los diodos de potencia se caracterizan porque en estado de conducción, deben ser capaces de soportar una alta intensidad con una pequeña caída de tensión. En sentido inverso, deben ser capaces de soportar una fuerte tensión negativa de ánodo con una pequeña intensidad de fugas.

Los diodos de potencia son de tres tipos:

- a) de uso general que están disponibles hasta 3000V, 3500A.
- b) De alta velocidad ó recuperación rápida, la capacidad de estos diodos puede llegar hasta 3000V, 1000^a. El tiempo de recuperación inversa varía entre 0.1 y 5 micro segundos, estos diodos son esenciales para la interrupción de los convertidores de potencia de altas frecuencias.
- c) Los diodos Schottky tienen un voltaje bajo de estado activo y un tiempo de recuperación muy pequeño en nano segundos, la corriente de fuga aumenta con el voltaje y sus especificaciones se limitan a 100V, 300 A.



FIGURA 1.3.2 c

El tiristor

El **tiristor** (Figura 1.3.2 d) es un componente electrónico constituido por elementos semiconductores que utiliza realimentación interna para producir una conmutación. Los materiales de los que se compone son de tipo semiconductor, es decir, dependiendo de la temperatura a la que se encuentren pueden funcionar como aislantes o como conductores. Son dispositivos unidireccionales porque solamente transmiten la corriente en una única dirección. Se emplea generalmente para el control de potencia eléctrica.

El dispositivo consta de un ánodo y un cátodo, donde las uniones son de tipo PNPN entre los mismos. Por tanto se puede modelar como 2 transistores típicos PNP y NPN, por eso se dice también que el tiristor funciona con tensión realimentada. Se crean así 3 uniones (denominadas J1, J2, J3 respectivamente), el terminal de puerta está conectado a la unión J2 (unión NP).

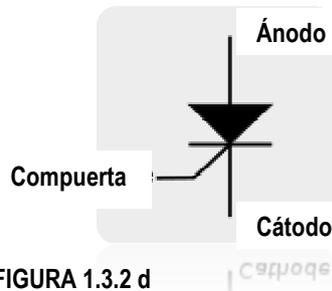


FIGURA 1.3.2 d

El tiristor es un conmutador biestable, es decir, es el equivalente electrónico de los interruptores mecánicos; por tanto, es capaz de dejar pasar plenamente o bloquear por completo el paso de la corriente sin tener nivel intermedio alguno, aunque no son capaces de soportar grandes sobrecargas de corriente.

Los principales tipos de tiristores:

- Rectificador controlado de silicio (SCR)
- Diac
- Triac
- Foto-SCR
- Interruptor controlado por puerta
- Interruptor controlado de silicio
- MCT
- FET-CTH
- SITH
- RTC

Triac.

Un TRIAC ó Trío de para Corriente Alterna (1.3.2 e) es un dispositivo semiconductor, de la familia de los transistores. La diferencia con un tiristor convencional es que éste es unidireccional y el TRIAC es bidireccional. De forma coloquial podría decirse que el TRIAC es un interruptor capaz de conmutar la corriente alterna.

Su estructura interna se asemeja en cierto modo a la disposición que formarían dos SCR en anti paralelo.

Posee tres electrodos: A1, A2 (en este caso pierden la denominación de ánodo y cátodo) y puerta. El disparo del TRIAC se realiza aplicando una corriente al electrodo puerta

Aplicaciones más comunes

Inversor Controlado Por Modulación De Ancho De Pulso Digital

- Su versatilidad lo hace ideal para el control de corrientes alternas.

Una de ellas es su utilización como interruptor estático ofreciendo muchas ventajas sobre los interruptores mecánicos convencionales y los relés.

- Funciona como switch electrónico y también a pila.

Se utilizan TRIACs de baja potencia en muchas aplicaciones como atenuadores de luz, controles de velocidad para motores eléctricos, y en los sistemas de control computarizado de muchos elementos caseros. No obstante, cuando se utiliza con cargas inductivas como motores eléctricos, se deben tomar las precauciones necesarias para asegurarse que el TRIAC se apaga correctamente al final de cada semiciclo de la onda de Corriente alterna.

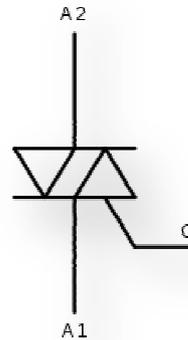


FIGURA 1.3.2 e

Transistores.

El transistor es un dispositivo electrónico semiconductor que cumple funciones de amplificador, oscilador, conmutador o rectificador. El término "transistor" es la contracción en inglés de *transfer resistor* ("resistencia de transferencia"). Actualmente se los encuentra prácticamente en todos los artefactos domésticos de uso diario: radios, televisores, grabadoras, reproductores de audio y video, hornos de microondas, lavadoras, automóviles, equipos de refrigeración, alarmas, relojes de cuarzo, computadoras, calculadoras, impresoras, lámparas fluorescentes, equipos de rayos X, tomógrafos, ecógrafos, reproductores mp3, celulares, etc.

Transistores TBJ.

El transistor de unión bipolar (1.3.2 f) es un dispositivo electrónico de estado sólido consistente en dos uniones PN muy cercanas entre sí, que permite controlar el paso de la corriente a través de sus terminales. Los transistores bipolares se usan generalmente en electrónica analógica. También en algunas aplicaciones de electrónica digital como la tecnología TTL o BICMOS. Un transistor de unión bipolar está formado por dos Uniones PN

Inversor Controlado Por Modulación De Ancho De Pulso Digital

en un solo cristal semiconductor, separados por una región muy estrecha. De esta manera quedan formadas tres regiones:

- **Emisor**, que se diferencia de las otras dos por estar fuertemente dopada, comportándose como un metal. Su nombre se debe a que esta terminal funciona como *emisor* de portadores de carga.
- **Base**, la intermedia, muy estrecha, que separa el emisor del colector.
- **Colector**, de extensión mucho mayor.
- *Tipos de Transistor de Unión Bipolar*
- Los transistores NPN consisten en una capa de material semiconductor dopado P (la "base") entre dos capas de material dopado N. Una pequeña corriente ingresando a la base en configuración emisor-común es amplificada en la salida del colector.
- La flecha en el símbolo del transistor NPN está en la terminal del emisor y apunta en la dirección en la que la corriente convencional circula cuando el dispositivo está en funcionamiento activo.
- Los transistores PNP consisten en una capa de material semiconductor dopado N entre dos capas de material dopado P. Los transistores PNP son comúnmente operados con el colector a masa y el emisor conectado al terminal positivo de la fuente de alimentación a través de una carga eléctrica externa. Una pequeña corriente circulando desde la base permite que una corriente mucho mayor circule desde el emisor hacia el colector.

La flecha en el transistor PNP está en el terminal del emisor y apunta en la dirección en que la corriente convencional circula cuando el dispositivo está en funcionamiento activo.

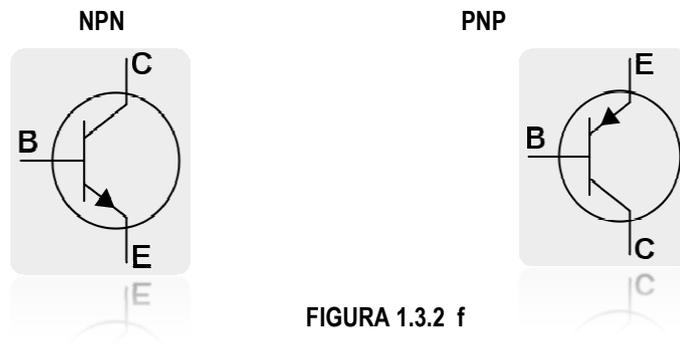


FIGURA 1.3.2 f

Inversor Controlado Por Modulación De Ancho De Pulso Digital

Configuraciones del tbj:

Aunque el transistor posea únicamente tres terminales, se puede realizar su estudio como un cuadripolo (dos terminales de entrada y dos de salida) si uno de sus terminales es común a la entrada y salida, Figura 1.3.2 g.

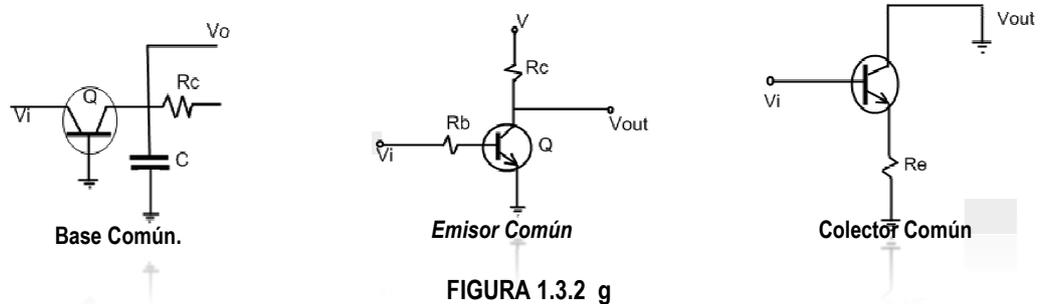


FIGURA 1.3.2 g

- **Base común (BC):** $A_{icc}=1$; R_e pequeña; R_s muy grande.
- **Colector común (CC):** A_{icc} elevada; R_e muy grande; R_s muy pequeña.
- **Emisor común (EC):** A_{icc} elevada; R_e pequeña; R_s grande.
- El montaje EC se aproxima más al amplificador de corriente ideal.
- El montaje BC permite adaptar una fuente de baja resistencia que ataca a una carga de alta resistencia.
- El montaje CC adapta una fuente de alta resistencia de salida a una carga de bajo valor.

Funcionamiento

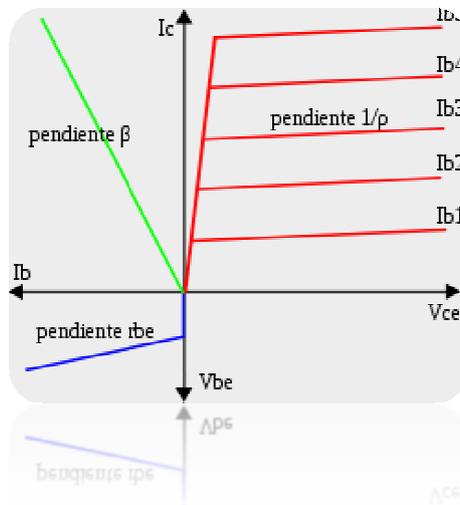
En una configuración normal, la unión emisor-base se polariza en directa y la unión base-colector en inversa. Debido a la agitación térmica los portadores de carga del emisor pueden atravesar la barrera de potencial emisor-base y llegar a la base. A su vez, prácticamente todos los portadores que llegaron son impulsados por el campo eléctrico que existe entre la base y el colector.

Un transistor NPN puede ser considerado como dos diodos con la región del ánodo compartida. En una operación típica, la unión base-emisor está polarizada en directa y la unión base-colector está polarizada en inversa. En un transistor NPN, por ejemplo, cuando una tensión positiva es aplicada en la unión base-emisor, el equilibrio entre los portadores generados térmicamente y el campo eléctrico repelente de la región agotada se

Inversor Controlado Por Modulación De Ancho De Pulso Digital

desbalancea, permitiendo a los electrones excitados térmicamente inyectarse en la región de la base. Estos electrones "vagan" a través de la base, desde la región de alta concentración cercana al emisor hasta la región de baja concentración cercana al colector. Estos electrones en la base son llamados portadores minoritarios debido a que la base está dopada con material P, los cuales generan "hoyos" como portadores mayoritarios en la base.

La región de la base en un transistor debe ser constructivamente delgada, para que los portadores puedan difundirse a través de esta en mucho menos tiempo que la vida útil del portador minoritario del semiconductor, para minimizar el porcentaje de portadores que se recombinan antes de alcanzar la unión base-colector. El espesor de la base debe ser menor al ancho de difusión de los electrones.



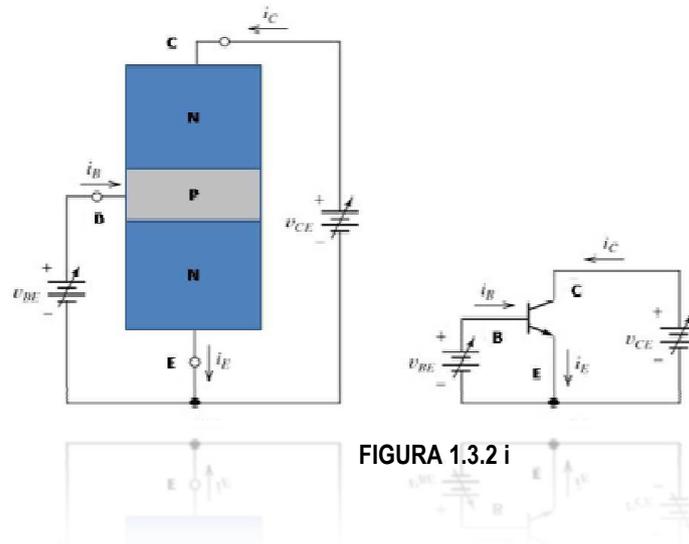
Característica idealizada de un transistor bipolar.

FIGURA 1.3.2 h

Funcionamiento Básico Npn:

- En el montaje EC de la figura 1.3.2 i, se polariza directamente la unión Base-Emisor; e inversamente la unión Base-Colector.
- Se polariza el BJT si V_{be} aprox. 0,6 voltios (polarización directa), y $V_{ce} > V_{be}$ (unión base-colector en inversa).
- La corriente de emisor es aquella que pasa por la unión base-emisor Polarizada en directa y depende de V_{be} al igual que en un diodo pn.

Inversor Controlado Por Modulación De Ancho De Pulso Digital



Control de tensión, carga y corriente

La corriente colector-emisor puede ser vista como controlada por la corriente base-emisor (control de corriente), o por la tensión base-emisor (control de voltaje). Esto es debido a la relación tensión-corriente de la unión base-emisor, la cual es la curva tensión-corriente exponencial usual de una unión PN (es decir, un diodo).

En el diseño de circuitos analógicos, el control de corriente es utilizado debido a que es aproximadamente lineal. Esto significa que la corriente de colector es aproximadamente β veces la corriente de la base. Algunos circuitos pueden ser diseñados asumiendo que la tensión base-emisor es aproximadamente constante, y que la corriente de colector es β veces la corriente de la base.

El Alfa y Beta del transistor

Una forma de medir la eficiencia del BJT es a través de la proporción de electrones capaces de cruzar la base y alcanzar el colector. El alto dopaje de la región del emisor y el bajo dopaje de la región de la base pueden causar que muchos más electrones sean inyectados desde el emisor hacia la base que huecos desde la base hacia el emisor. La *ganancia de corriente emisor común* está representada por β_F o por h_{fe} . Esto es aproximadamente la tasa de corriente continua de colector a la corriente continua de la base en la región activa directa y es típicamente mayor a 100. Otro parámetro importante es la *ganancia de corriente base común*, α_F . La ganancia de corriente base común es aproximadamente la ganancia de

Inversor Controlado Por Modulación De Ancho De Pulso Digital

corriente desde emisor a colector en la región activa directa. Esta tasa usualmente tiene un valor cercano a la unidad; que oscila entre 0.98 y 0.998. El Alfa y Beta están más precisamente determinados por las siguientes relaciones (para un transistor NPN):

$$\alpha_F = \frac{I_C}{I_E} \dots \text{Ecuación 1.1}$$

$$\beta_F = \frac{\alpha_F}{1 - \alpha_F} \dots \text{Ecuación 1.2}$$

$$\alpha_F = \frac{\beta_F}{1 + \beta_F} \dots \text{Ecuación 1.3}$$

Ecuaciones Del Dispositivo:

- Aplicando la 1ª Ley de Kirchhoff al BJT:

$$i_E = i_C + i_B \dots \text{Ecuación 1.4}$$

- El parámetro α del BJT es el cociente corriente colector y corriente de emisor.
- α oscila entre 0,9 y 0,999. Así pues, es el colector quien proporciona la mayor parte de corriente del emisor.

$$\alpha = \frac{i_C}{i_E} \dots \text{Ecuación 1.5}$$

- La unión pn base – emisor cumple la ecuación (Shockley):

$$i_E = I_{ES} \left[e^{\frac{v_{BE}}{v_T}} - 1 \right] \dots \text{Ecuación 1.6}$$

- Sustituyendo la corriente de emisor:

$$i_C = \alpha I_{ES} \left[e^{\frac{v_{BE}}{v_T}} - 1 \right] \dots \text{Ecuación 1.7}$$

- Para una tensión base emisor superior a unas décimas de voltio, la exponencial hace despreciable la unidad del interior del paréntesis.
- Sustituyendo la intensidad de colector utilizando las dos primeras ecuaciones:

$$i_B = (1 - \alpha) i_E \dots \text{Ecuación 1.8}$$

- Definiendo β como:

$$\beta = \frac{i_C}{i_B} \dots \text{Ecuación 1.9}$$

- La relación entre α y β es:

$$\beta = \frac{\alpha}{1 - \alpha} = \frac{i_C}{i_B} \dots \text{Ecuación 1.10}$$

Regiones operativas del transistor

Los transistores de unión bipolar tienen diferentes regiones operativas, definidas principalmente por la forma en que son polarizados:

- Región activa:

Cuando un transistor no está ni en su región de saturación ni en la región de corte entonces está en una región intermedia, la región activa. En esta región la corriente de colector (i_C) depende principalmente de la corriente de base (i_B), de β (ganancia de corriente, es un dato del fabricante) y de las resistencias que se encuentren

Inversor Controlado Por Modulación De Ancho De Pulso Digital

conectadas en el colector y emisor. Esta región es la más importante si lo que se desea es utilizar el transistor como un amplificador de señal.

- Región inversa:

Al invertir las condiciones de polaridad del funcionamiento en modo activo, el transistor bipolar entra en funcionamiento en modo inverso. En este modo, las regiones del colector y emisor intercambian roles. Debido a que la mayoría de los TBJ son diseñados para maximizar la ganancia de corriente en modo activo, el parámetro beta en modo inverso es drásticamente menor al presente en modo activo.

- Región de corte: Un transistor está en corte cuando:

Corriente de colector = corriente de emisor = 0, ($I_c = I_e = 0$)

En este caso el voltaje entre el colector y el emisor del transistor es el voltaje de alimentación del circuito. (Como no hay corriente circulando, no hay caída de voltaje, ver Ley de Ohm). Este caso normalmente se presenta cuando la corriente de base = 0 ($I_b = 0$)

- Región de saturación: Un transistor está saturado cuando:

Corriente de colector = corriente de emisor = corriente máxima, ($I_c = I_e = \text{Máxima}$)

En este caso la magnitud de la corriente depende del voltaje de alimentación del circuito y de las resistencias conectadas en el colector o el emisor o en ambos, ver ley de Ohm. Este caso normalmente se presenta cuando la corriente de base es lo suficientemente grande como para inducir una corriente de colector β veces más grande. (Recordar que $I_c = \beta * I_b$)

MODO	POLARIZACION DE LA UNION	
	EMISOR - BASE	COLECTOR - BASE
Activo - Directo	Directa	Inversa
Corte	Inversa	Inversa
Saturación	Directa	Directa
Activo - Inverso	Inversa	Directa

FIGURA 1.3.2 j

Transistor Darlington

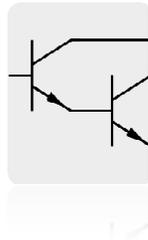


Diagrama de la configuración Darlington

FIGURA 1.3.2 k

En electrónica, el transistor Darlington (1.3.2 k) es un dispositivo semiconductor que combina dos transistores bipolares en un tándem (a veces llamado *par Darlington*) en un único dispositivo.

La configuración (originalmente realizada con dos transistores separados) fue inventada por el ingeniero de los Laboratorios Bell Sidney Darlington. La idea de poner dos o tres transistores sobre un chip fue patentada por él, pero no la idea de poner un número arbitrario de transistores que originaría la idea moderna de circuito integrado.

Comportamiento

Esta configuración sirve para que el dispositivo sea capaz de proporcionar una gran ganancia de corriente (parámetro β del transistor) y, al poder estar todo integrado, requiere menos espacio que dos transistores normales en la misma configuración. La ganancia total del Darlington es el producto de la ganancia de los transistores individuales. Un dispositivo típico tiene una ganancia en corriente de 1000 o superior. También tiene un mayor desplazamiento de fase en altas frecuencias que un único transistor, de ahí que pueda convertirse fácilmente en inestable. La tensión base-emisor también es mayor, siendo la suma de ambas tensiones base-emisor, y para transistores de silicio es superior a 1.2V. La beta de un transistor o par darlington se halla multiplicando las de los transistores individuales. la intensidad del colector se halla multiplicando la intensidad de la base por la beta total.

.... Ecuación 1.11

Inversor Controlado Por Modulación De Ancho De Pulso Digital

Si β_1 y β_2 son suficientemente grandes, se da que:

$$\beta_{Darlington} \approx \beta_1 * \beta_2 \dots \text{Ecuación 1. 12}$$

Un inconveniente es la duplicación aproximada de la base-emisor de tensión. Ya que hay dos uniones entre la base y emisor de los transistores Darlington, el voltaje base-emisor equivalente es la suma de ambas tensiones base-emisor:

$$V_{BE} = V_{BE1} + V_{BE2} \approx 2V_{BE1} \dots \text{Ecuación 1. 13}$$

Para la tecnología basada en silicio, en la que cada V_{BE1} es de aproximadamente 0,65 V cuando el dispositivo está funcionando en la región activa o saturada, la tensión base-emisor necesaria de la pareja es de 1,3 V.

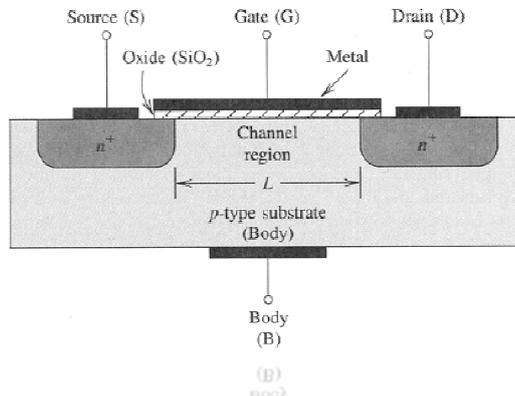
Otro inconveniente del par Darlington es el aumento de su tensión de saturación. El transistor de salida no puede saturarse (es decir, su unión base-colector debe permanecer polarizada en inversa), ya que su tensión colector-emisor es ahora igual a la suma de su propia tensión base-emisor y la tensión colector-emisor del primer transistor, ambas positivas en condiciones de funcionamiento normal. (En ecuaciones, $V_{CE2} = V_{BE2} + V_{CE1}$, así $V_{C2} > V_{B2}$ siempre.) Por lo tanto, la tensión de saturación de un transistor Darlington es un V_{BE} (alrededor de 0,65 V en silicio) más alto que la tensión de saturación de un solo transistor, que es normalmente 0,1 - 0,2 V en el silicio. Para corrientes de colector iguales, este inconveniente se traduce en un aumento de la potencia disipada por el transistor Darlington comparado con un único transistor.

Otro problema es la reducción de la velocidad de conmutación, ya que el primer transistor no puede inhibir activamente la corriente de base de la segunda, haciendo al dispositivo lento para apagarse. Para paliar esto, el segundo transistor suele tener una resistencia de cientos de ohmios conectada entre su base y emisor. Esta resistencia permite una vía de descarga de baja impedancia para la carga acumulada en la unión base-emisor, permitiendo un rápido apagado.

Inversor Controlado Por Modulación De Ancho De Pulso Digital

Transistores MOSFET.

MOSFET son las siglas de **Metal Oxide Semiconductor Field Effect Transistor**. Consiste en un transistor de efecto de campo basado en la estructura MOS. Es el transistor más utilizado en la industria microelectrónica. Prácticamente la totalidad de los circuitos integrados de uso comercial están basados en transistores MOSFET (Figura 1.3.2 I).



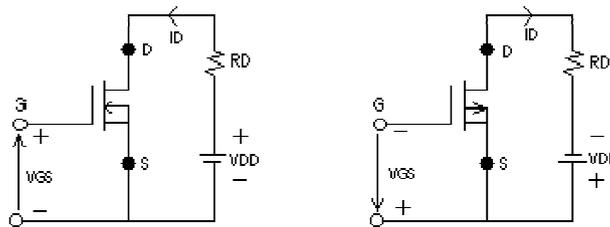
Estructura Física
FIGURA 1.3.2 I

Los MOSFET son de 2 tipos:

1. - MOSFET de agotamiento. Un MOSFET tipo agotamiento de canal N se forma en un sustrato de silicio de tipo P con dos silicios N+ fuertemente dopados para tener conexiones de baja resistencia. La compuerta está aislada del canal mediante una delgada capa de óxido. Las 3 terminales se conocen como compuerta, drenaje y fuente. Normalmente el sustrato se conecta a la fuente. El voltaje de compuerta a la fuente, VGS, puede ser positivo o negativo; si es negativo algunos electrones del área del canal N serán repelidos y se creará una región de agotamiento por debajo de la capa de óxido, que resultará en un canal efectivo más angosto y en una alta resistencia de drenaje a fuente, RDS. Si VGS se hace suficientemente negativo, el canal se agotará totalmente, ofreciendo un alto valor RDS, y no habrá flujo de drenaje a fuente, IDS = 0. Cuando esto ocurre al VGS se le conoce como voltaje de estrechamiento Vp. Por otra parte, VGS se hace positivo, el canal se ensancha, e IDS aumenta debido a la reducción de RDS. Con un MOSFET tipo agotamiento de canal P se invierten las polaridades de VDS, IDS y VGS.

Inversor Controlado Por Modulación De Ancho De Pulso Digital

2. MOSFET de enriquecimiento. Un MOSFET de enriquecimiento de canal N, no tiene un canal físico. Si V_{GS} es positivo, un voltaje inducido atraerá los electrones del sustrato P y los acumulará en la superficie por debajo de la capa de óxido. Si V_{GS} es mayor o igual a un voltaje conocido como voltaje de umbral, V_T , se acumulará un número suficiente de electrones para formar un canal virtual N y la corriente fluirá del drenaje a la fuente. Si se trata de un MOSFET de enriquecimiento canal P, las polaridades de V_{DS} , I_{DS} y V_{GS} se invierten.



a) Canal N

b) Canal P

FIGURA 1.3.2 m

Funcionamiento.

Las áreas de difusión se denominan **fuelle** (source) y **drenador**(drain), y el conductor entre ellos es la **puerta**(gate).

El transistor MOSFET tiene tres estados de funcionamiento:

Estado de corte:

Cuando la tensión de la puerta es idéntica a la del sustrato, el MOSFET está en estado de no conducción: ninguna corriente fluye entre fuente y drenador aunque se aplique una diferencia de potencial entre ambos. También se llama mosfet a los aislados por juntura de dos componentes.

Inversor Controlado Por Modulación De Ancho De Pulso Digital

Conducción lineal:

Al polarizarse la puerta con una tensión negativa (pMOS) o positiva (nMOS), se crea una región de depleción en la región que separa la fuente y el drenador. Si esta tensión crece lo suficiente, aparecerán portadores minoritarios (electrones en nMOS, huecos en pMOS) en la región de depleción que darán lugar a un canal de conducción. El transistor pasa entonces a estado de conducción, de modo que una diferencia de potencial entre fuente y drenador dará lugar a una corriente. El transistor se comporta como una resistencia controlada por la tensión de puerta.

Saturación:

Cuando la tensión entre drenador y fuente supera cierto límite, el canal de conducción bajo la puerta sufre un estrangulamiento en las cercanías del drenador y desaparece. La corriente entre fuente y drenador no se interrumpe, ya que es debida al campo eléctrico entre ambos, pero se hace independiente de la diferencia de potencial entre ambos terminales.

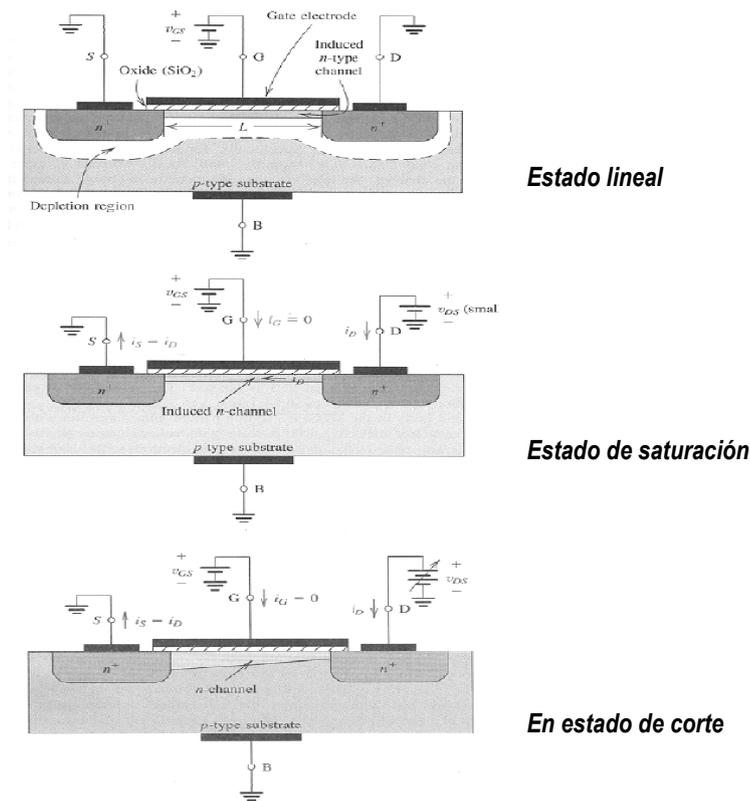


FIGURA 1.3.2 n

Inversor Controlado Por Modulación De Ancho De Pulso Digital

Ecuaciones:

1. Zona de Corte:

$$\begin{aligned} v_{GS} < V_t & \quad (V_t \approx 0.7 - 3 V) \\ i_D = 0 & \quad \dots \text{Ecuación 1.14} \end{aligned}$$

2. Zona Lineal:

$$v_{GS} > V_t \quad y \quad v_{DS} < v_{GS} - V_t$$

$$i_D = \beta \left[(v_{GS} - V_t) * v_{DS} - \frac{1}{2} v_{DS}^2 \right] \dots \text{Ecuación 1.15}$$

$$\beta = \mu_N C_{ox} \frac{W}{L} \dots \text{Ecuación 1.16}$$

Donde:

μ_N Movilidad de los electrones.

C_{ox} Capacidad por unidad de área entre la puerta y el sustrato.

3. Zona de Saturación:

$$v_{GS} > V_t \quad y \quad v_{DS} > v_{GS} - V_t$$

$$i_D = \frac{\beta}{2} * (v_{GS} - V_t)^2 \dots \text{Ecuación 1.17}$$

Inversor Controlado Por Modulación De Ancho De Pulso Digital

Aplicaciones:

La forma más habitual de emplear transistores MOSFET es en circuitos de tipo CMOS, consistentes en el uso de transistores pMOS y nMOS complementarios.

Las aplicaciones de MOSFET discretos más comunes son:

- Resistencia controlada por tensión.
- Circuitos de conmutación de potencia (HEXFET, FREDFET, etc).
- Mezcladores de frecuencia, con MOSFET de doble puerta.

Ventajas:

La principal aplicación de los MOSFET está en los circuitos integrados, p-mos, n-mos y c-mos, debido a varias ventajas sobre los transistores bipolares:

- Consumo en modo estático muy bajo.
- Tamaño muy inferior al transistor bipolar (actualmente del orden de media micra).
- Gran capacidad de integración debido a su reducido tamaño.
- Funcionamiento por tensión, son controlados por voltaje por lo que tienen una impedancia de entrada muy alta. La intensidad que circula por la puerta es del orden de los nanos amperios.
- Un circuito realizado con MOSFET no necesita resistencias, con el ahorro de superficie que conlleva.
- La velocidad de conmutación es muy alta, siendo del orden de los nanosegundos.
- Cada vez se encuentran más en aplicaciones en los convertidores de alta frecuencias y baja potencia.

Transistores IGBT.

El transistor bipolar de puerta aislada (Figura 1.3.2 ñ) es un dispositivo semiconductor que generalmente se aplica como interruptor controlado en circuitos de electrónica de potencia.

Este dispositivo posee la características de las señales de puerta de los transistores de efecto campo con la capacidad de alta corriente y voltaje de baja saturación del transistor bipolar, combinando una puerta aislada FET para la entrada de control y un transistor bipolar como interruptor en un solo dispositivo. El circuito de excitación del IGBT es como el del MOSFET, mientras que las características de conducción son como las del BJT.

Inversor Controlado Por Modulación De Ancho De Pulso Digital

El IGBT es adecuado para velocidades de conmutación de hasta 20 KHz y ha sustituido al BJT en muchas aplicaciones. Es usado en aplicaciones de altas y media energía como fuente conmutada, control de la tracción en motores y cocina de inducción. Grandes módulos de IGBT consisten en muchos dispositivos colocados en paralelo que pueden manejar altas corrientes del orden de cientos de amperios con voltajes de bloqueo de 6.000 voltios.

Se puede concebir el IGBT como un transistor Darlington híbrido. Tiene la capacidad de manejo de corriente de un bipolar pero no requiere de la corriente de base para mantenerse en conducción. Sin embargo las corrientes transitorias de conmutación de la base pueden ser igualmente altas. En aplicaciones de electrónica de potencia es intermedio entre los tiristores y los mosfet. Maneja más potencia que los segundos siendo más lento que ellos y lo inverso respecto a los primeros.

Este es un dispositivo para la conmutación en sistemas de alta tensión. La tensión de control de puerta es de unos 15 V. Esto ofrece la ventaja de controlar sistemas de potencia aplicando una señal eléctrica de entrada muy débil en la puerta.

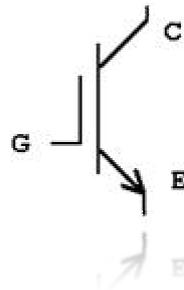


FIGURA 1.3.2 ñ

1.4 Análisis de señales.

1.4.1 Conceptos.

Definición de Señal.

Algún tipo de dato que informa sobre algo sustituyendo la palabra escrita o lenguaje hablado. Las señales pueden utilizarse para transmitir información. Tanto el emisor como el receptor deben encontrar un lenguaje común para entenderse.

Señales digitales.

La **señal digital** es un tipo de señal generada por algún tipo de fenómeno electromagnético en que cada signo que codifica el contenido de la misma puede ser analizado en término de algunas magnitudes que representan valores discretos, en lugar de valores dentro de un cierto rango. Por ejemplo, el interruptor de la luz sólo puede tomar dos valores o estados: abierto o cerrado, o la misma lámpara: encendida o apagada (véase circuito de conmutación).

Inversor Controlado Por Modulación De Ancho De Pulso Digital

Los sistemas digitales, como por ejemplo el ordenador, usan lógica de dos estados representados por dos niveles de tensión eléctrica, uno alto, H y otro bajo, L (de *High* y *Low*, respectivamente, en inglés). Por abstracción, dichos estados se sustituyen por ceros y unos, lo que facilita la aplicación de la lógica y la aritmética binaria. Si el nivel alto se representa por 1 y el bajo por 0, se habla de lógica positiva y en caso contrario de lógica negativa.

Cabe mencionar que, además de los niveles, en una señal digital están las transiciones de alto a bajo y de bajo a alto, denominadas flanco de subida y de bajada, respectivamente. En la figura se muestra una señal digital donde se identifican los niveles y los flancos.

Señales analógicas.

Los conceptos de señales y sistemas son necesarios en todos los campos de la ingeniería y en muchas otras disciplinas. Una señal es cualquier fenómeno que se representa de manera cuantitativa como funciones de una o varias variables independientes. Existen una gran variedad de señales que son de gran importancia práctica en descripción de fenómenos físicos. Las señales eléctricas constituyen, el tipo de señales que se pueden medir con facilidad y que pueden ser representadas de forma muy simple. Por esta razón los físicos e ingenieros transforman variables físicas y químicas en señales eléctricas, esto se puede lograr mediante sensores o traductores, que pueden ser en voltaje y corriente que varían con el tiempo. Las señales, pueden tener características muy variadas en formas, amplitud, duración y otras propiedades.

1.4.2 Clasificación de las señales.

Señal continúa.

Una forma de clasificar a las señales es atendiendo la naturaleza de la variable independiente. Si la variable independiente es continua, a esta señal se le llama continua. Figura 1.4.2a



Figura 1.4.2a. Señales continuas

Inversor Controlado Por Modulación De Ancho De Pulso Digital

Señal discreta.

Es comúnmente creada con el teorema de muestreo para discretiza una señal continua, de tal manera que tenga valores en los espacios que tiene una separación igual y son creadas en el tiempo. Figura 1.4.2b



Figura 1.4.2b Señales Discretas

Señales periódicas y aperiódicas.

Señales periódicas se repiten con un periodo T figura 1.4.2c, las señales aperiódicas o no periódicas no se repiten figura 1.4.2d, por lo tanto, cualquier señal periódica en tiempo continuo que satisfaga la condición. $x(t) = x(t \pm kt)$ para toda $k = 1, 2, 3, 4, 5, \dots$, siendo $T > 0$ una constante denominada periodo fundamental figura 1.4.2c

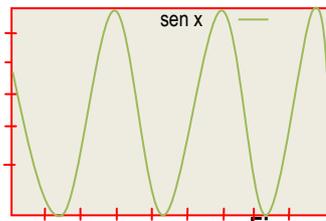


Figura 1.4.2c

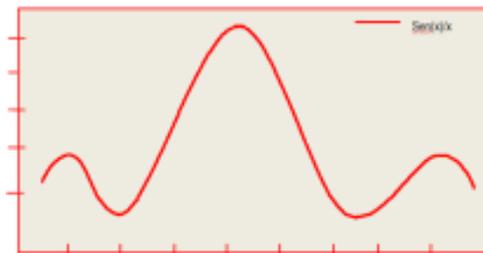
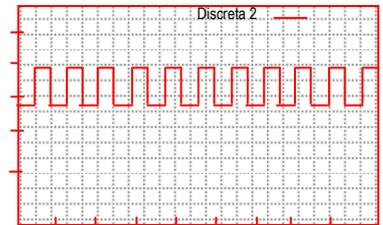


Figura 1.4.2d

Señales par e impar.

Una señal par es cualquier señal $f(t)=f(-t)$, las señales pares se pueden identificar fácilmente porque son simétricas con el eje central. Una señal par impar satisface $f(-t)=-f(t)$. Figura 1.4.2e

Para demostrar lo anterior, cualquier señal se puede escribir como una combinación de una señal par e impar. Cada señal tiene una descomposición par impar. Una señal arbitraria $f(t)$ se puede expresar como la suma de una señal par y otra impar.

$$f(t) = f_{par}(t) + f_{impar}(t) \dots \text{Ecuación 1. 18}$$

Siendo $f_{par}(t)$ la parte par de la función $f(t)$, que se obtiene así.

$$f_{par}(t) = \frac{1}{2} [f(t) + f(-t)] \dots \text{Ecuación 1. 19}$$

Y $f_{impar}(t)$ la parte impar de $f(t)$ que se expresa de la siguiente manera.

$$f_{impar}(t) = \frac{1}{2} [f(t) - f(-t)] \dots \text{Ecuación 1. 20}$$

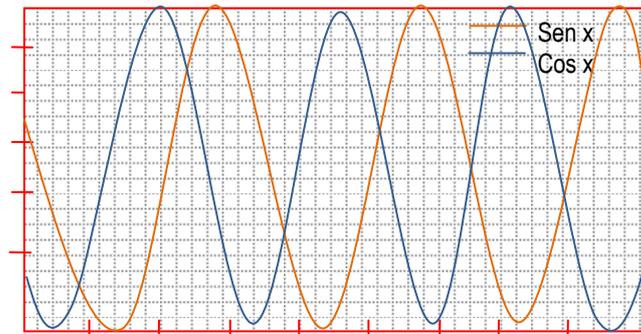


Figura 1.4.2e. Función coseno es par, función seno es impar.

Por lo tanto:

$$f(t) = \frac{1}{2} [f(t) + f(-t)] + \frac{1}{2} [f(t) - f(-t)] \dots \text{Ecuación 1. 21}$$

Inversor Controlado Por Modulación De Ancho De Pulso Digital

Al examinar y sumar esta expresión, demostramos que lo explicado anteriormente es cierto. También se puede observar que $f(t) + f(-t)$ satisface una función par, $f(t) - f(-t)$, satisface una función impar.

Señales de energía finita y de potencia media finita.

Si $v(t)$ es el voltaje una señal real, e una resistencia de valor R , que produce una corriente $i(t)=v(t)/R$. la potencia instantánea de la señal $Ri^2(t)= v^2(t)/R$, y la energía correspondiente al intervalo infinitesimal dt es $[v^2(t)/R] dt$, si la resistencia tiene el valor de un ohm. La energía de la señal durante un intervalo temporal de duración $2L$ se define así:

$$E_{2L} = \int_{-L}^L |v(t)|^2 dt \dots \text{Ecuación 1. 22}$$

Y la energía total de la señal en el intervalo $t \in (-\infty, \infty)$ es

$$E = \int_{-\infty}^{\infty} |v(t)|^2 dt \dots \text{Ecuación 1. 23}$$

La potencia media puede definirse entonces así:

$$P = \lim_{L \rightarrow \infty} \left[\int_{-L}^L |v(t)|^2 dt \right] \dots \text{Ecuación 1. 24}$$

1.4.3 Operaciones

Operación de desplazamiento.

El desplazamiento en el tiempo, como su nombre lo indica, es trasladar la señal en el eje del tiempo. Esto se hace sumando ó restando la cantidad del desplazamiento de tiempo a la función. Restando una cantidad fija en la variable tiempo tendrá un cambio en la señal hacia la derecha, señal atrasada por esa cantidad $v(t) = v(t - t_0)$ t_0 desplazamiento temporal, por el contrario al sumar una cantidad a la variable tiempo se desplazara hacia la izquierda señal adelantada $v(t) = v(t + t_0)$ fig. 1.4.3a

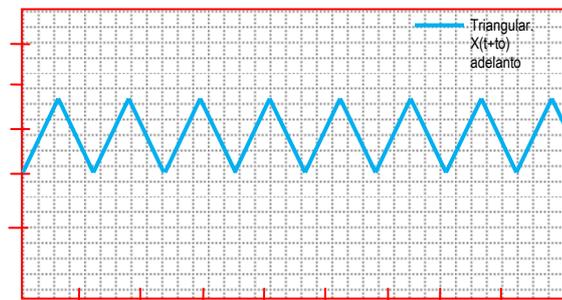
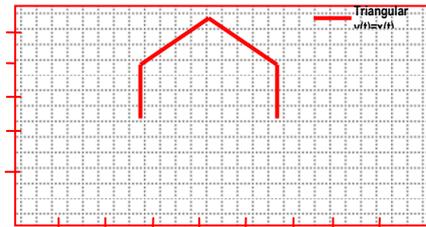


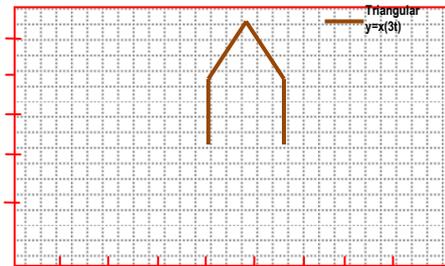
Figura 1.4.3a

Escala en el eje del tiempo.

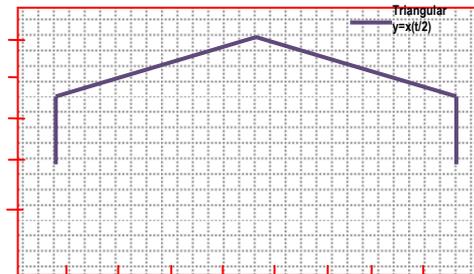
Escalar el tiempo es comprimir o expandir una señal al multiplicar las variables del tiempo por alguna cantidad. Si esta cantidad es mayor que uno, la señal se vuelve angosta, esto es conocido como compresión, cuando la cantidad es menor que uno, la señal se vuelve ancha y esto se le conoce como expansión. Para la señal escada $y(t)=x(at)$, la nueva señal $x(t)$ se debe graficar sobre un nuevo eje del tiempo t_n en las posiciones dadas por $t=at_n$ ó $t_n=t/a$.
Figura 1.4.3b



(a)



(b)



(c)

Figura 1.4.3b. a) Señal normal; b) Señal comprimida c) Señal expandida.

Ejemplo:

Utilizar la operación de compresión para la siguiente serie de coeficientes.

$$y(0) = 0, \\ y(T) = 0.2587, y(2T) = 0.4999, y(3T) = 0.7071, y(4T) = 0.8660, y(5T) = 0.9664, y(6T) = 1$$

Operación de compresión para una señal:

$$\frac{1}{|a|} \delta(t) = \delta(at) \dots \dots \dots \text{Ecuacion 1.25}$$

Solución:

<i>para</i>	$y(0)$	$0\delta(t) = \delta(0t)$
<i>para</i>	$y(T)$	$3.865\delta(t) = \delta\left(\frac{0.6944mS}{3.865}t\right) \rightarrow \delta(0.1793mS)$
<i>para</i>	$y(2T)$	$2.0004\delta(t) = \delta\left(\frac{0.6944mS}{2.0004}t\right) \rightarrow \delta(0.3471mS)$
<i>para</i>	$y(3T)$	$1.4142\delta(t) = \delta\left(\frac{0.6944mS}{1.4142}t\right) \rightarrow \delta(0.4910mS)$
<i>para</i>	$y(4T)$	$1.1547\delta(t) = \delta\left(\frac{0.6944mS}{1.1547}t\right) \rightarrow \delta(0.6013mS)$
<i>para</i>	$y(5T)$	$1.0347\delta(t) = \delta\left(\frac{0.6944mS}{1.0347}t\right) \rightarrow \delta(0.6710mS)$
<i>para</i>	$y(6T)$	$1\delta(t) = \delta\left(\frac{0.6944mS}{1}t\right) \rightarrow \delta(0.6944mS)$

Se obtiene la secuencia:

$$v(kT) = \delta(0.1793 t - T) + \delta(0.3471 t - 2T) + \delta(0.4910 t - 3T) + \delta(0.6013 t - 4T) + \delta(0.6710 t - 5T) + \delta(0.6944 t - 6T)$$

1.4.4 Señales elementales.

Las señal se obtiene es reales pueden ser muy complejas pero se puede recurrir a señales simples, descritas mediante funciones sencillas, que permitan aproximar las señales reales, ya sea cada una por separado o bien mediante combinaciones de ellas.

Función Impulso

La función impulso (Figura 1.4.4a) es más un concepto matemático que una función, que se define de la siguiente manera:

$$\delta(t) = \begin{cases} infinito, & t=0 \\ 0, & t \neq 0 \end{cases}$$

$$\int_{-\infty}^{+\infty} \delta(t)dt = 1 \dots \dots \dots \text{Ecuacion 1.26}$$

Inversor Controlado Por Modulación De Ancho De Pulso Digital

- La función es cero para cualquier valor de t , excepto cero.
- Cuando la t es cero el valor de la función es infinito
- Por definición el área de esta función es igual a uno

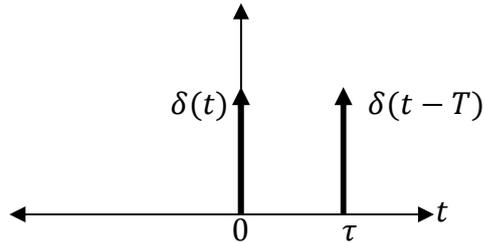


Figura 1.4.4a Función Impulso

Función Rampa

La función rampa (Figura 1.4.4b) es la integral de la función escalón. Si consideramos que estamos sumando toda el área bajo la función escalón a hasta un tiempo t . Si $t < 0$ (cero), el valor de la integral será 0 (cero). Si es mayor que 0 (cero), entonces el valor será igual a la integral de 1 desde el tiempo 0 hasta el tiempo t , la cual también tiene el valor t , es decir:

$$r(t) = \begin{cases} t, & t > 0 \\ 0, & t < 0 \end{cases}$$

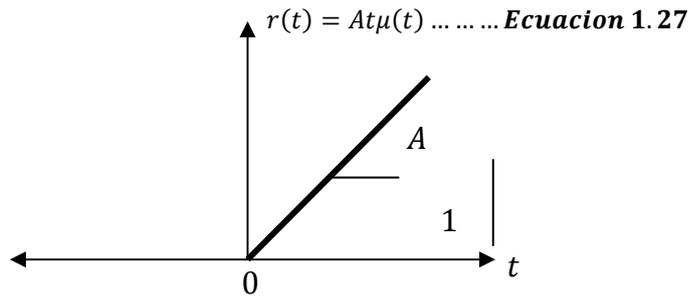


Figura 1.4.4b. Función rampa

Señal escalón unitario.

Escalón unitario (Figura 1.4.4c) en el tiempo continuo se define de la siguiente forma:

$$u(t) = \begin{cases} 1, & t > 0 \\ 0, & t < 0 \end{cases}$$

Inversor Controlado Por Modulación De Ancho De Pulso Digital

La función escalón unitario es muy útil para probar y definir otras señales.

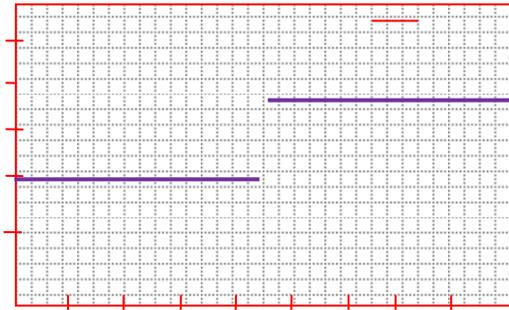


Figura 1.4.4c Escalón Unitario

Nótese que la función escalón unitario es continua para toda t excepto en $t = 0$.
Señal rampa unitaria.

Se define matemáticamente como sigue:

$$r(t) = \begin{cases} t, & t \geq 0 \\ 0, & t < 0 \end{cases} \dots \text{Ecuación 1.28}$$

Esta función se obtiene integrando la función escalón unitario.

$$r(t) = \int_0^{\infty} u(t) dt. \dots \text{Ecuación 1.29}$$

El dispositivo que realiza esta operación se denomina integrador, a diferencia de la función escalón.

1.5 Transformada de cualquier señal periódica.

Sea $v(t)$ una señal periódica cualquiera. Sabemos que esta señal se puede expresar se puede expresar en términos de la serie exponencial como:

$$v(t) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} V_n e^{jn\omega_0 t} \text{ donde } (\omega_0 = 2\pi/T_0) \dots \text{Ecuación 1.30}$$

Tomando transformada:

$$\mathfrak{L}[v(t)] = \sum_{n=-\infty}^{\infty} \mathfrak{L}[V_n e^{jn\omega_0 t}] \dots \text{Ecuación 1.31}$$

Inversor Controlado Por Modulación De Ancho De Pulso Digital

Como V_n , es constante para cada término de la sumatoria:

$$\mathcal{F}[v(t)] = 2\pi \sum_{n=-\infty}^{\infty} V_n \delta(\omega - n\omega_0) \dots \text{Ecuación 1.32}$$

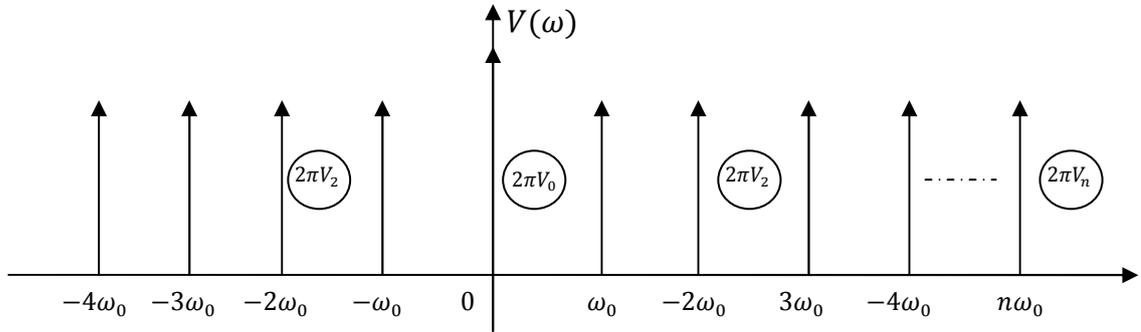


Figura 1.5a Transformada De Una Señal Periódica

O sea que el espectro de cualquier señal periódica $v(t)$ es un tren de impulsos equidistantes de magnitud $2\pi V_n$ ($V_n =$ coeficiente de la serie exponencial o factor de forma, ilustrado en la figura 1.5a). La presencia de impulsos localizados en $\pm n\omega_0$, es decir en las frecuencias armónicas de la señal, significa que se trata de un espectro discreto; recordando que la obtención de la serie de Fourier de señales periódicas arroja espectros discretos. Es decir, así como la transformada de Fourier es la forma límite de la serie de Fourier, el tren de impulsos ponderados equidistantes es la forma límite de la función de densidad continua.

Ejemplo:

Encontrar la transformada de Fourier de la señal periódica $p(t)$ de la figura 1.5b.

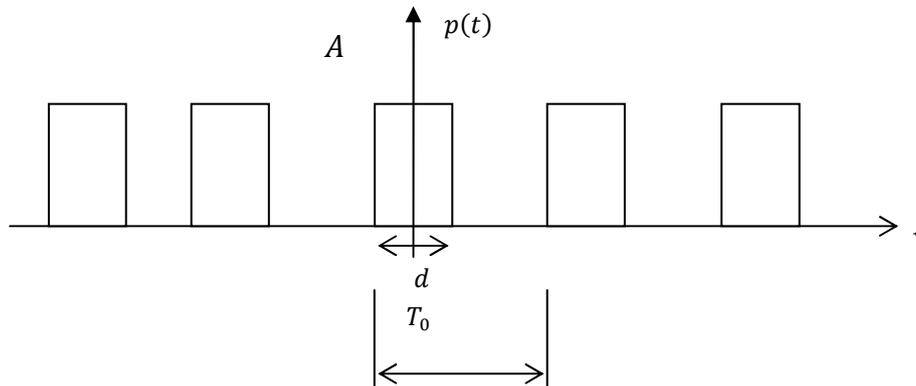


Figura 1.5b. Tren De Pulsos Rectangulares.

Inversor Controlado Por Modulación De Ancho De Pulso Digital

Solución.

El factor de forma de esta señal pulso rectangular periódica es:

$$V_n = \frac{Ad}{T_0} \text{Mu} \left(\frac{n\pi d}{T_0} \right) \dots \text{Ecuación 1.33}$$

Así la transformada de Fourier de p(t) es:

$$\mathcal{F}[v(t)] = \frac{2\pi dA}{T_0} \sum_{n=-\infty}^{\infty} \text{Mu} \left(\frac{n\pi d}{T_0} \right) \delta(\omega - \omega_0) \dots \text{Ecuación 1.34}$$

Para el caso particular en que $d = 1/20$ y $T_0 = 1/4$

$$\mathcal{F}[v(t)] = 2\pi \sum_{n=-\infty}^{\infty} V_n \delta(\omega - \omega_0) \dots \text{Ecuación 1.35}$$

La figura 1.5c muestra la grafica de este espectro.

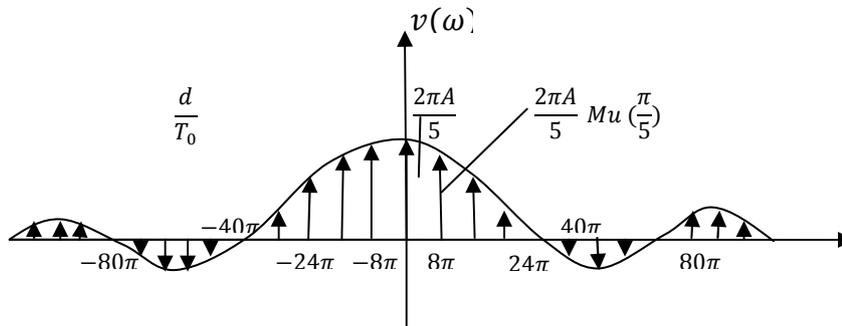


Figura 1.5c. Espectro De p (T)

Inversor Controlado Por Modulación De Ancho De Pulso Digital

$$\begin{aligned} \text{para } n = 0. & \quad V_0 = \frac{A}{5} \\ \text{para } n = 1. & \quad V_1 = \frac{A}{5} \operatorname{Mu}\left(\frac{\pi}{5}\right) \end{aligned}$$

Para nuestro caso $\omega_0 = 2\pi/T_0 = 8\pi$ y el primer nulo de la envolvente de $F(\omega)$ es 40π . Estrictamente, los impulsos de $F(\omega)$ de la figura 1.5c deben ser de la misma altura, pero para significar que su magnitud esta ponderada por la función de muestreo (Ecuación 1.33) se les incorpora dentro de una envolvente que varía como función de muestreo.

1.6 Teorema de Muestreo.

Para que toda señal continua se pueda digitalizar debe primero muestrearse. El muestreo discretiza en el tiempo a la señal continua, es decir, considera sólo valores de la señal que corresponde a ciertos valores discretos del tiempo. El teorema de muestreo establece que toda señal de banda limitada a f_m Hz queda determinada en forma única mediante sus valores que corresponden a intervalos rectangulares de la duración $\frac{1}{2} f_m$ segundos o menos. Es decir, si la transformada de Fourier de $v(t)$ vale cero por arriba de la frecuencia $\omega_m = 2\pi f_m$, entonces toda la información $v(t)$ queda contenida en sus muestras uniformemente espaciadas por la cantidad $\frac{1}{2} f_m$ segundos o menos. Sea $v(t)$ una señal cualquiera cuya transformada es $V(\omega)$, figura 1.6b.

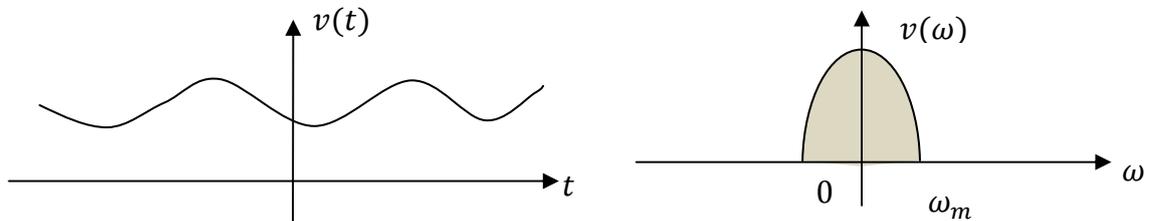


Figura 1.6a

La señal $v(t)$ es de banda limitada, es decir, no contiene componentes de frecuencia arriba de f_m (Hz). Considérese también el tren de impulsos $\delta_{T_M}(t)$ de periodo T_M .

$$\delta_{T_M}(t) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} \delta(t - nT_M) \dots \text{Ecuación 1.36}$$

Y su transformada $\delta_{\omega_M}(\omega)$.

$$\omega_M \delta_{\omega_M}(\omega) = \omega_M \sum_{n=-\infty}^{\infty} \delta(\omega - n\omega_M) \dots \text{Ecuación 1.37}$$

Inversor Controlado Por Modulación De Ancho De Pulso Digital

Cuyas graficas se muestran en la figura 1.6b. Efectuando ahora la multiplicación de $v(t)$ por $\delta_{T_M}(t)$, $v_M(t) = \delta_{T_M}(t) v(t)$ y graficando su espectro $V_M(\omega)$.

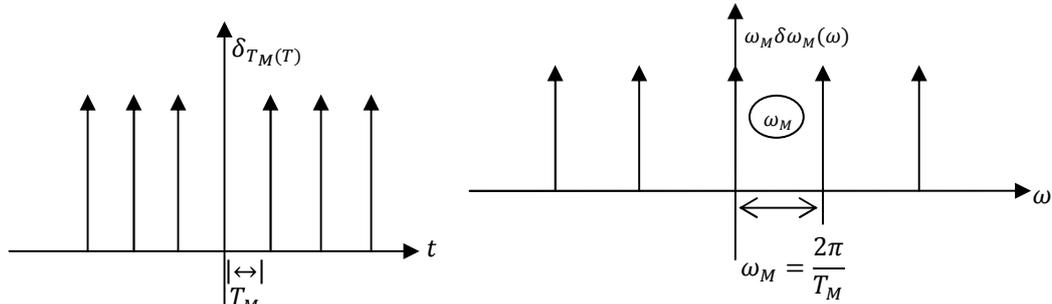


Figura 1.6b

La señal producto $v_M(t)$ es una secuencia de impulsos con periodo T_M ponderados con la señal $v(t)$; figura 1.6c(b). Es decir una señal que contiene muestras de $v(t)$ tomadas a intervalos regulares de valor T_M seg. Se dice que $v_M(t)$ es una señal muestreada; las muestras van impresas en la magnitud de cada impulso que es $v(0)$, $v(T_M)$, $v(2T_M)$, etc. El espectro $V_M(\omega)$ de $v_M(t)$ se obtiene mediante la convolución de $V(\omega)$ y $\omega_M \delta_{\omega_M}(\omega)$.

$$\begin{aligned}
 v_M(t) &\leftrightarrow \frac{1}{2\pi} [V(\omega) * \omega_M \delta_{\omega_M}(\omega)] \\
 v_M &\leftrightarrow \frac{1}{T_M} [V(\omega) * \delta_{\omega_M}(\omega)] \\
 v_M(t) &\leftrightarrow \frac{1}{T_M} V(\omega) * \sum_{n=-\infty}^{\infty} \delta(\omega - n\omega_M) \dots \dots \text{Ecuación 1.38}
 \end{aligned}$$

La ecuación 1.38 establece que el espectro de la señal muestreada es la repetición $\pm n\omega_M$ del espectro $v(t)$. Cada componente de espectro contiene la información de $v(t)$. En consecuencia, sorprendentemente, el muestrear una señal no implica la pérdida de información de la señal, sino por el contrario produce información redundante.

Si la señal muestreada $v_M(t)$ se transmite de un punto a otro, la señal original $v(t)$ se podría recuperar en el receptor, sin pérdida de información alguna, mediante un filtro de pasa bajo con característica como la que se ilustra en la figura 1.6c(b).

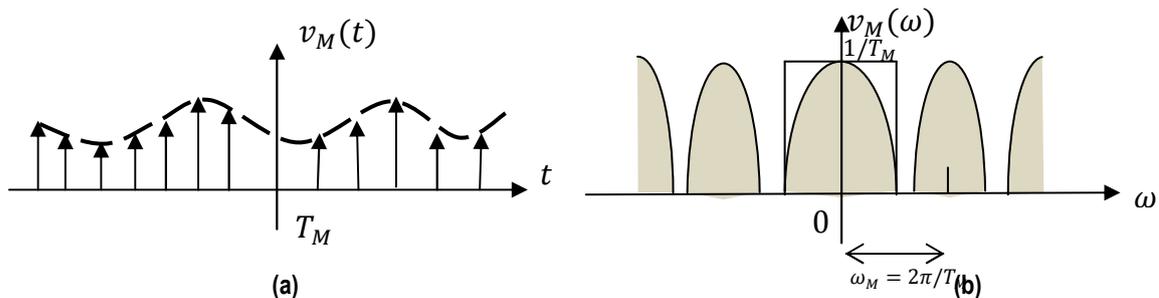


Figura 1.6c

Inversor Controlado Por Modulación De Ancho De Pulso Digital

Para la demostración del teorema, debe observar en la grafica de $F_M(\omega)$ que si los componentes del espectro se traslapan entonces no es posible recuperar fielmente la señal de información $f(t)$. Es necesario, por lo tanto, asegurar la separación entre ciclos de $F_M(\omega)$. Notamos además, que si $\omega_M = 2\omega_m$ los ciclos quedan justamente pegados y el intervalo de muestreo es:

$$T_M = \frac{2\pi}{\omega_M} = \frac{2\pi}{2\omega_m} = \frac{2\pi}{4\pi f_m} = \frac{1}{2f_m}$$
$$T_M = \frac{1}{2f_m} \text{ seg} \dots \dots \dots \text{Ecuación 1. 39}$$

Este es el intervalo máximo de muestreo T_M que se conoce con el nombre de intervalo de Nyquist. Con este intervalo, la velocidad de muestreo es $2f_m$ muestras por segundo si $T_M > 1/2 f_m$ seg, los ciclos de $F_M(\omega)$ se traslapan y no se puede recuperar $F(\omega)$ a partir de $F_M(\omega)$; eso indica que no se muestrea con la velocidad suficiente perdiéndose entonces parte de la información de $v(t)$. la separación entre ciclos se asegura si $\omega_M > 2\omega_m$ y esto implica que:

$$T_M < \frac{1}{2f_m} \text{ seg} \dots \dots \dots \text{Ecuación 1. 40}$$

O que:

$$V_M > 2f_m \frac{\text{muestras}}{\text{segundo}} \dots \dots \dots \text{Ecuación 1. 41}$$

Otra forma de establecer el teorema de muestreo es que la señal se debe muestrear cuando menos dos veces en cada ciclo o periodo de su componente de mayor frecuencia.

1.7 Modulación Analógica De Pulsos.

El teorema de muestreo constituye la base teórica de la modulación analógica de pulsos; el teorema demuestra que toda la información de una señal analógica está contenida en las muestras discretas de la señal siempre y cuando se tomen a la velocidad mínima de $2f_m$ muestras por segundo. De esta manera, sólo es necesario transmitir un número finito de muestras en lugar de la señal continua que requiere ocupar todo el tiempo el canal para su transmisión. Cada muestra se transmite como un pulso, de duración muy pequeña pero finita; la magnitud de la muestra, información de $v(t)$, puede estar contenida en cualquiera de los tres parámetros, la amplitud, la duración o la posición del pulso de muestreo.

El muestreo de una señal la discretiza en tiempo, esto es, permite manejar solo los niveles de la señal que corresponden a valores discretos del tiempo. Así, si se emplea la modulación por amplitud de pulsos, la señal muestreada, que es un tren de pulsos como la figura 1.7.1a (e); es una señal discreta en tiempo, pero no en amplitud pues la altura de los pulsos puede adoptar todavía un número infinito de valores. Por esta razón; se dice que los pulsos de la señal muestreada son analógicos y de aquí el nombre de modulación analógica de pulsos para este proceso.

Inversor Controlado Por Modulación De Ancho De Pulso Digital

1.7.1 Modulación por amplitud de pulsos (MAP).

En este tipo de modulación la información de la señal modulada $v(t)$ va contenida en la amplitud de los pulsos de muestreo. La altura de estos pulsos varía en forma proporcional con la amplitud de $v(t)$. Por conveniencia consideraremos primero el muestreo ideal que constituye en multiplicar a $v(t)$ por el tren de impulsos periódicos $\delta_T(t)$, de la figura 1.7.1a (a). Las muestras son impulsos a intervalos de $1/2f_m$ segundos de la magnitud ponderada por $v(t)$ como se ve en la figura 1.7.1a (d). El espectro $v_s(\omega)$ de la señal muestreada $v_s(t)$ consiste en una repetición del espectro, (figura 1.7.1a (e)). Evidentemente la estructura de este espectro nos indica que es posible recuperar a $v(t)$ a partir de la señal muestreada $v_s(t)$ haciéndola pasar a través de un filtro de pasa bajo con frecuencia de corte f_m . El espectro $v_s(\omega)$ de la señal está dada por:

$$v_s(\omega) = \frac{1}{T} \sum_{n=-\infty}^{\infty} v(\omega - n\omega_0) \dots \dots \dots \text{Ecuación 1. 42}$$

$$\text{con } \omega_0 = \frac{2\pi}{T} \quad \text{y } T \leq \frac{1}{2f_m} \dots \dots \dots \text{Ecuación 1. 43}$$

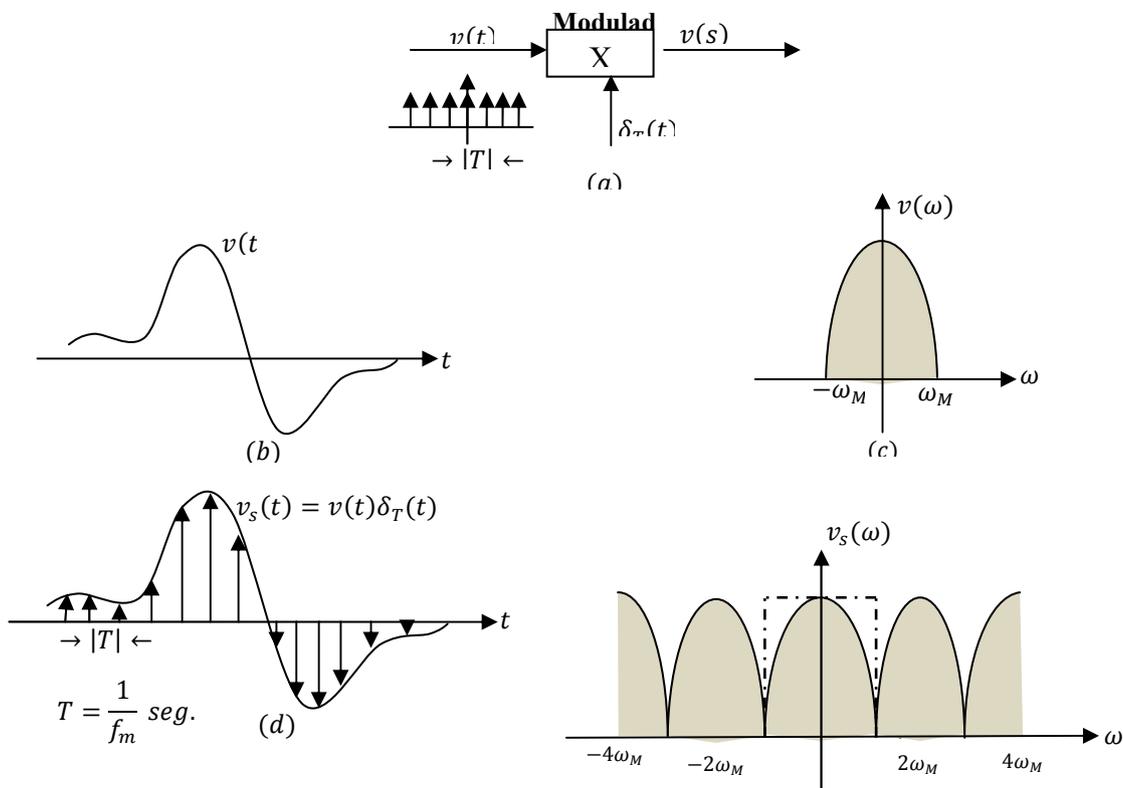


Figura 1.7.1a Muestreo Ideal

La figura 1.7.1a muestra el caso de $T = 1/2f_m$ (intervalo de Nyquist) en el que $\omega_0 = 2\omega_m$

$$v_s(\omega) = \frac{1}{T} \sum_{n=-\infty}^{\infty} v(\omega - 2n\omega_m) \dots \dots \dots \text{Ecuación 1. 44}$$

$$\text{on } T = \frac{\pi}{\omega_m}$$

1.7.2 Muestreo natural.

El muestreo natural, en general, se realiza con pulsos rectangulares de duración sumamente pequeña pero finita, por lo que este muestreo no es instantáneo sino que implica una duración finita para cada muestra representada por un pulso de muestreo.

Ahora, supongamos entonces que se muestrea con la señal $p_\tau(t)$ de la figura 1.7.2a (c), formada por una serie de pulsos de duración τ espaciados uniformemente por el tiempo T segundos. Se requiere que T corresponda, cuando mucho, al intervalo de Nyquist para que se pueda considerar como intervalo de muestreo. Tomando el caso limite, $T = 1/2f_m$ segundos, la señal muestreada, figura 1.7.2a (e), se obtiene multiplicando $v(t)$ por $p_\tau(t)$. El espectro de esta señal se obtiene como la convolución de los espectros $V(\omega)$ y $P_\tau(\omega)$. Como sabemos, el espectro $P_\tau(\omega)$ es un tren de impulsos ponderados por la función de muestreo. La convolución de $V(\omega)$ y $P_\tau(\omega)$ se muestra en la figura 1.7.2a (f). De esta figura se observa que el espectro de la señal muestreada prácticamente es similar al muestreo ideal de $v(t)$ solo que con amplitud decreciente. La expresión analítica del espectro práctico se puede obtener de la siguiente manera:

$$v_s(t) = v(t) * p_\tau(t) \dots \dots \dots \text{Ecuación 1. 45}$$

Por lo tanto:

$$v_s(\omega) = \frac{1}{2\pi} V(\omega) * P_\tau(\omega) \dots \dots \dots \text{Ecuación 1. 46}$$

Como para nuestro caso:

$$T = \frac{1}{2f_m} = \frac{\pi}{\omega_m} \quad \text{y} \quad \omega_0 = \frac{2\pi}{T} = 2\omega_m \dots \dots \dots \text{Ecuación 1. 47}$$

De la ecuación 1.34 se tiene por lo tanto:

$$P_\tau(\omega) = 2A\tau\omega_m \sum_{n=-\infty}^{\infty} \text{Mu}(n\tau\omega_m)\delta(\omega - 2n\omega_m) \dots \dots \dots \text{Ecuación 1. 48}$$

Inversor Controlado Por Modulación De Ancho De Pulso Digital

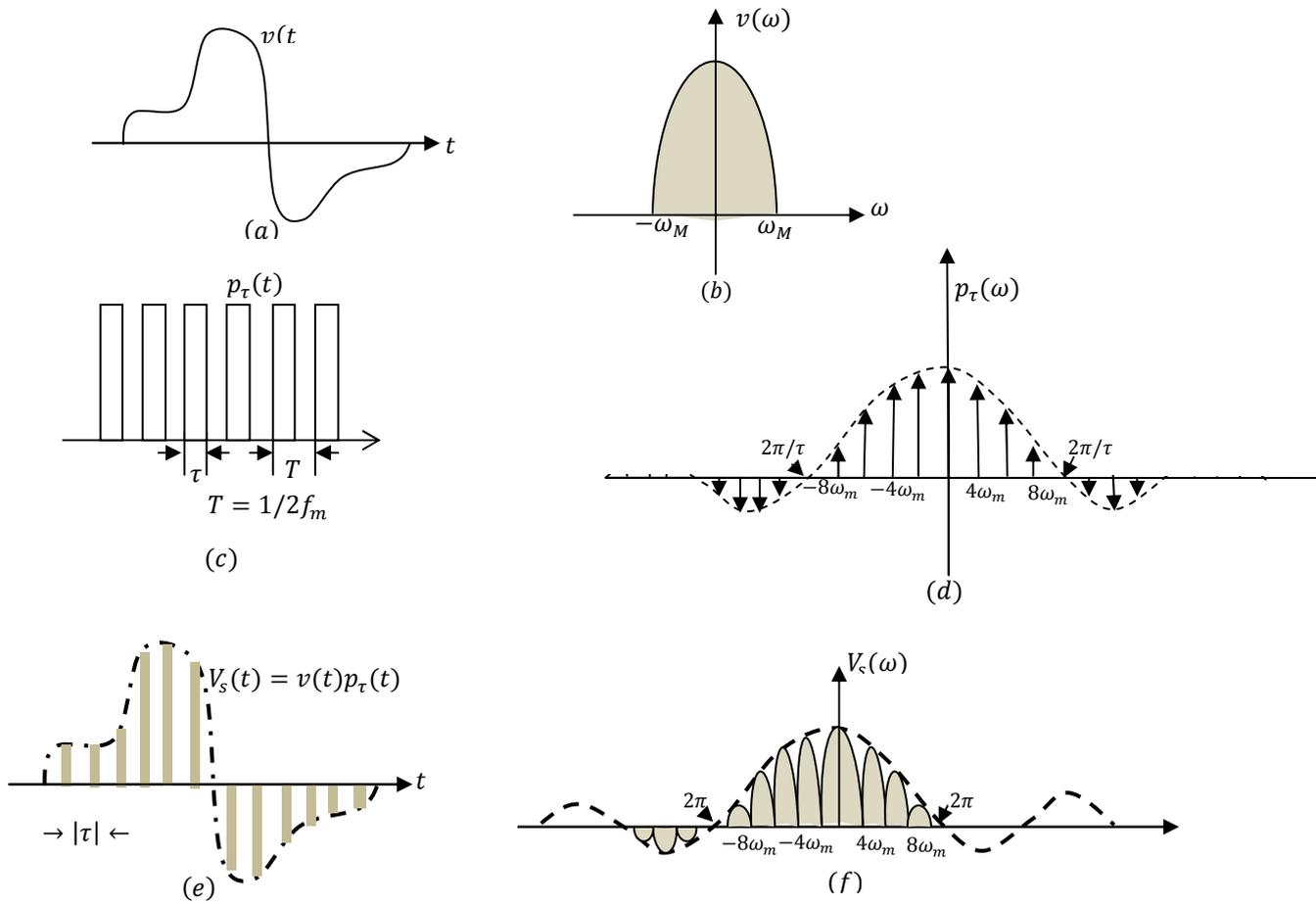


Figura 1.7.2a Muestreo Práctico

Sustituyendo 1.46 en 1.48 se obtiene:

$$V_s(\omega) = \frac{A\tau\omega_m}{\pi} F(\omega) * \sum_{n=-\infty}^{\infty} Mu(n\tau\omega_m)\delta(\omega - 2n\omega_m)$$

$$V_s(\omega) = \frac{A\tau}{T} \sum_{n=-\infty}^{\infty} Mu(n\tau\omega_m)F(\omega) * \delta(\omega - 2n\omega_m)$$

$$V_s(\omega) = \frac{A\tau}{T} \sum_{n=-\infty}^{\infty} Mu(n\tau\omega_m)F(\omega - 2n\omega_m) \dots \dots \dots \text{Ecuación 1. 49}$$

Inversor Controlado Por Modulación De Ancho De Pulso Digital

Esta expresión representa una serie de espectros $V(\omega)$ situados cada $2\omega_m$ radianes por segundo con su amplitud variando como $(A\tau/T) \text{Mu}(n\tau\omega_m)$ lo que gráficamente se representa en la figura 1.7.2a (f). Por lo tanto, como el muestreo práctico de $v(t)$ resulta en la repetición de su espectro cada $2\omega_m$ la señal de información $v(t)$ se puede recuperar a partir de la señal muestreada $v_s(t)$, haciendo pasar esta señal a través del filtro de pasa bajo con frecuencia de corte ω_m . Es decir el proceso de demodulación es el mismo, tanto para la modulación por pulsos como para la modulación por impulsos. Existe sin embargo, una diferencia en el ancho de banda de estas dos señales; el ancho de banda de la señal muestreada en forma ideal es infinito figura 1.32e en tanto que el ancho de banda de la señal con muestreo no ideal es finito, pues el espectro $V_s(\omega)$ figura 1.7.2a (f) decrece con la frecuencia teniendo a desaparecer para frecuencias elevadas.

A medida que la duración de los pulsos de la señal muestreada aumenta, el espectro de esta señal decae más rápidamente reduciéndose el ancho de banda de la señal. Desde el punto de vista de transmisión resulta, entonces, que la modulación por pulsos (muestreo práctico) es mejor que la modulación por impulsos.

El muestreo no ideal describe justamente el proceso de modulación por amplitud de pulsos (MAP) debido a que la señal muestreada es, en esencia, el tren periódico de pulsos $p_\tau(t)$ con su amplitud modulada por $v(t)$. La señal modulada se expresa como el producto de $f(t)$ por $p_\tau(t)$, esto es modulación. Se debe hacer notar que no es indispensable que los pulsos sean rectangulares como se ve en la figura 1.33c. Se puede emplear cualquier otra forma de pulso $q(t)$; esto solo cambia la forma del envolvente del espectro $V_s(\omega)$ de la figura 1.7.2a (f). La envolvente se denota por $Q(\omega)$ la transformada de Fourier de $q(t)$. Por lo tanto la señal muestreada con una señal periódica $q_\tau(t)$ a base del pulso genérico $q(t)$ es:

$$v_s(t) = v(t) * q_\tau(t) \dots \dots \dots \text{Ecuación 1. 50}$$

$$v_s(t) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} q(t - nt) \dots \dots \dots \text{Ecuación 1. 51}$$

1.7.3 Muestreo instantáneo.

En el muestreo natural como se ve en la figura 1.7.2a (e) cada pulso de la señal muestreada $v_s(t)$ tiene diferente forma de onda pues la parte superior de cada pulso adopta la forma de la onda moduladora $v(t)$ en el intervalo correspondiente. A diferencia, en el muestreo instantáneo todos los pulsos de la señal muestreada tiene la misma forma solo que con amplitudes proporcionales a los valores de amplitud correspondientes de $v(t)$ como vemos en la figura 1.7.3a. Bajo la suposición de que la señal periódica a base del pulso $q(t)$ de la figura 1.7.3a (a) satisfaga la velocidad de Nyquist, la señal muestreada $x_s(t)$ de la figura 1.7.2a (c) contendrá toda la información de $v(t)$. Es importante notar que el muestreo natural porta la información de $v(t)$ que corresponde a la duración de cada pulso de muestreo mientras que en el muestreo instantáneo la información de $v(t)$ está contenida solo en los instantes de muestreo. Por esta razón, este tipo de muestreo es instantáneo. El muestreo ideal a base de impulsos es también instantáneo.

Inversor Controlado Por Modulación De Ancho De Pulso Digital

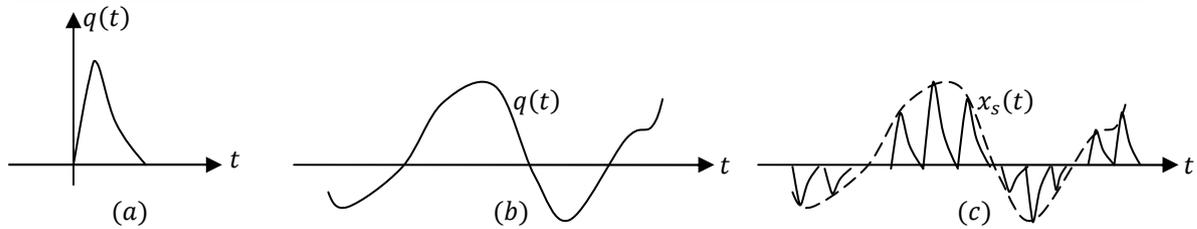


Figura 1.7.3a Muestreo Instantáneo

Considerando que el pulso básico que se utiliza tiene la forma arbitraria $q(t)$ de la figura 1.7.3a (a). La señal muestreada $x_s(t)$ en el muestreo instantáneo es:

$$x_s(t) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} v(nT)q(t - nT) \dots \dots \dots \text{Ecuación 1. 52}$$

Debe notarse que la notación $v_s(t)$ se ha reservado para cuando $v(t)$ se muestrea con un tren de impulsos unitarios:

$$v_s(t) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} v(nT)\delta(t - nT) \dots \dots \dots \text{Ecuación 1. 53}$$

El espectro de $x_s(t)$ para la forma arbitraria de pulso $q(t)$ se deduce en forma sencilla considerando la obtención de $x_s(t)$ a partir de cuya respuesta al impulso unitario es $q(t)$ y cuya señal de entrada sea la $v_s(t)$ de la ecuación 1.53. Esto se representa en la figura 1.7.3b Así:

$$q(t) \leftrightarrow Q(\omega) \dots \dots \text{Ecuación 1. 54}$$

Entonces:

$$x_s(t) \leftrightarrow X_s(\omega) \leftrightarrow V_s(\omega) * Q(\omega) \dots \dots \dots \text{Ecuación 1. 55}$$

Utilizando la ecuación 1.42 se obtiene

$$\begin{aligned} X_s(\omega) &\leftrightarrow \frac{1}{T} \sum_{n=-\infty}^{\infty} Q(\omega) * V(\omega - 2n\omega_m), & T \\ &= \frac{\pi}{\omega_m} \dots \dots \dots \text{Ecuación 1. 56} \end{aligned}$$

De esta ecuación resulta evidente que el espectro de la señal muestreada $x_s(t)$ está formado por la repetición periódica de $V(\omega)$, multiplicada por el espectro de $q(t)$ que es $Q(\omega)$. En la figura 1.36 se representa el caso de pulsos con la parte superior plana. Debe observarse que $X_s(\omega)$, espectro de $x_s(t)$, de la figura 1.36g no es el mismo que el de la figura 1.36f, aunque aparentemente lo sea.

Inversor Controlado Por Modulación De Ancho De Pulso Digital

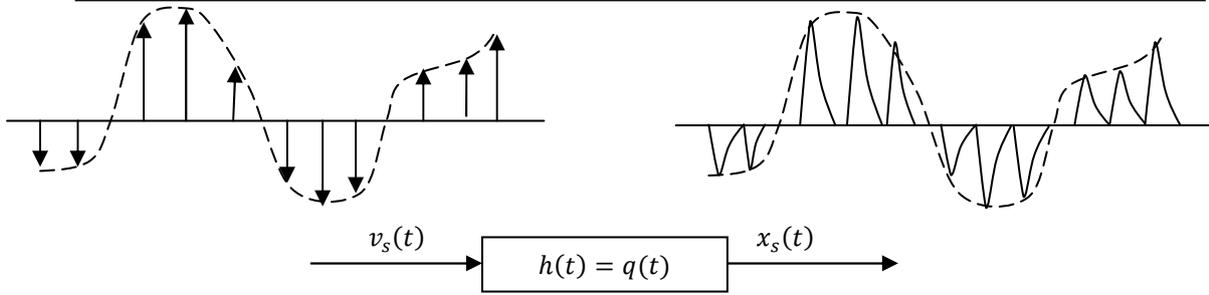
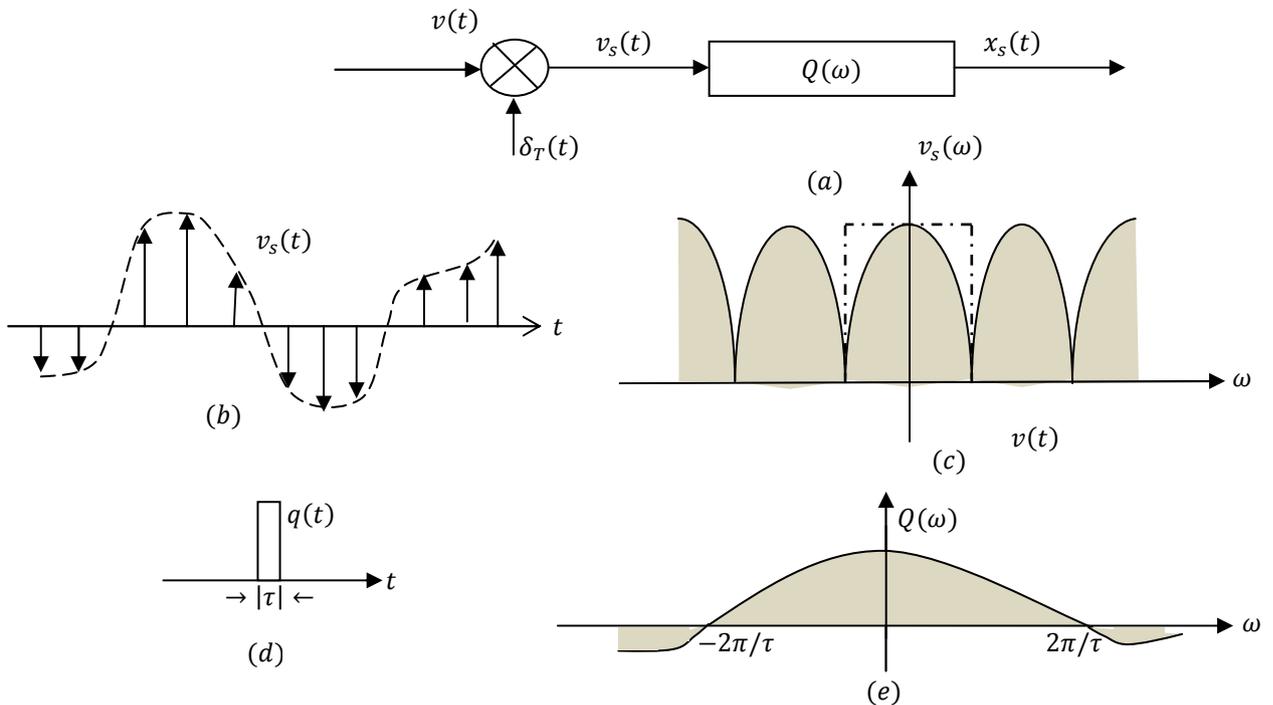


Figura 1.7.3b respuesta $x_s(t)$ del sistema $v_s(t)$

El espectro de la figura 1.7.2a está formado por repeticiones periódicas de $V(\omega)$, con disminución de sus amplitudes, pero sin perder su forma en cada ciclo. Sin embargo como se muestra en la figura 1.7.3c (g), $V(\omega)$ pierde su forma original quedando ponderada por el factor $Q(\omega)$. Para cada frecuencia existe un factor distinto; por eso, ninguno de los ciclos de la figura 1.7.3c (g) tiene la forma de $V(\omega)$. Esto se deduce claramente de las ecuaciones 1.49 y 1.56. En la ecuación 1.49 el factor de muestreo $Mu(n\tau\omega_m)$ es constante para cada ciclo en tanto que, de acuerdo con la ecuación 1.56 el factor de $Q(\omega)$ es función de la frecuencia.



Inversor Controlado Por Modulación De Ancho De Pulso Digital

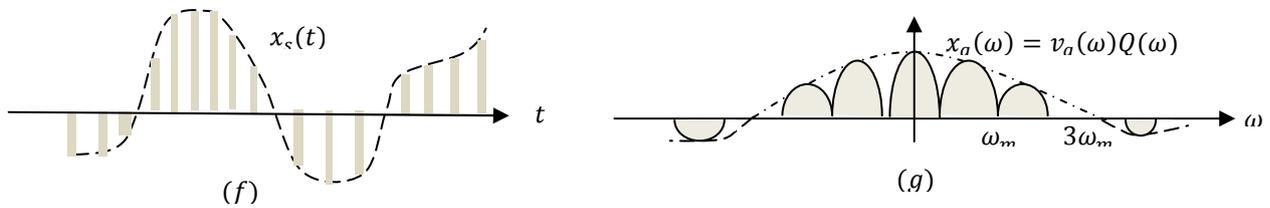


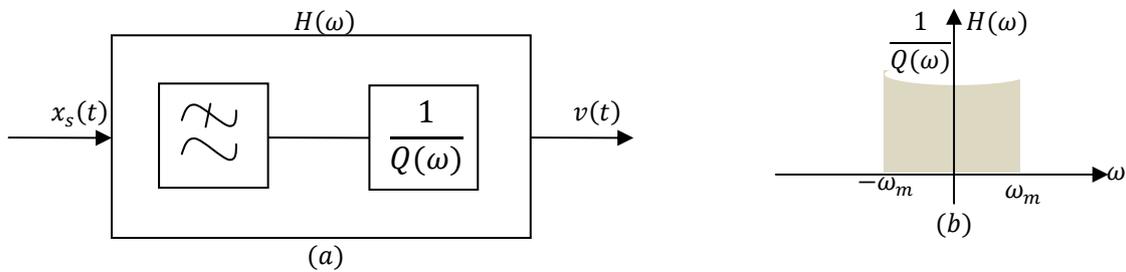
Figura 1.7.3c muestreo instantáneo con pulso de tope plano.

1.7.4 Recuperación de $v(t)$ del muestreo instantáneo.

El espectro de una señal con muestreo instantáneo $x_s(t)$ es, como se ve en la figura 1.7.3c, una serie de formas distorsionadas de $V(\omega)$. Por lo tanto no es posible recuperar $V(\omega)$. Utilizando un filtro pasa bajo cuyo espectro de salida sea $V(\omega) * Q(\omega)$ con frecuencia de corte de ω_m . La señal deseada $v(t)$ se puede recuperar de la salida de este filtro haciendo pasar por otro filtro con función de transferencia $1/Q(\omega)$ (fig.1.7.4a (a)). Debe observarse que como $V(\omega)$ es de banda limitada a ω_m radianes por segundo, será suficiente que el filtro tenga la función de transferencia $1/Q(\omega)$ en el intervalo $(0, \omega_m)$. Fuera de este intervalo puede elegirse cualquier forma conveniente para el diseño. Ambos filtros se pueden combinar en uno con la respuesta que se ilustra en figura 1.7.4a (b). Evidentemente, la función de transferencia $H(\omega)$ será $1/Q(\omega)$ en el intervalo $(0, \omega_m)$ y cero fuera del mismo; por lo tanto $H(\omega)$ se puede expresar como:

$$H(\omega) = \begin{cases} 1/Q(\omega) & \text{para } |\omega| < \omega_m \\ 0 & \text{para cualquier punto.....ecuacion 1.57} \end{cases}$$

Cuando el pulso $q(t)$ es extremadamente angosto tiende a la función impulso y $Q(\omega)$ tiende a aplanarse es decir tiende a volverse constante en el intervalo $(0, \omega_m)$. Bajo circunstancias, el filtro combinado de la figura 1.7.4a (b).



1.7.4a Recuperación de $v(t)$

Inversor Controlado Por Modulación De Ancho De Pulso Digital

Se reduce a un filtro de pasa bajo de corte de ω_m y la recuperación de $v(t)$ es idéntica a la del muestreo natural. Esto debe ser así toda vez que si $q(t)$ es muy angosto tiende a un impulso y la situación se aproxima a la del muestreo ideal. $V(t)$ también se puede recuperar, a partir de $x_s(t)$, multiplicando esta señal muestreada por un tren de impulsos $\tau_T(t)$. El resultado, obviamente, es $v_s(t)$ de donde se recupera $v(t)$ mediante el filtraje de pasa bajo de $v_s(t)$, figura 1.7.4b

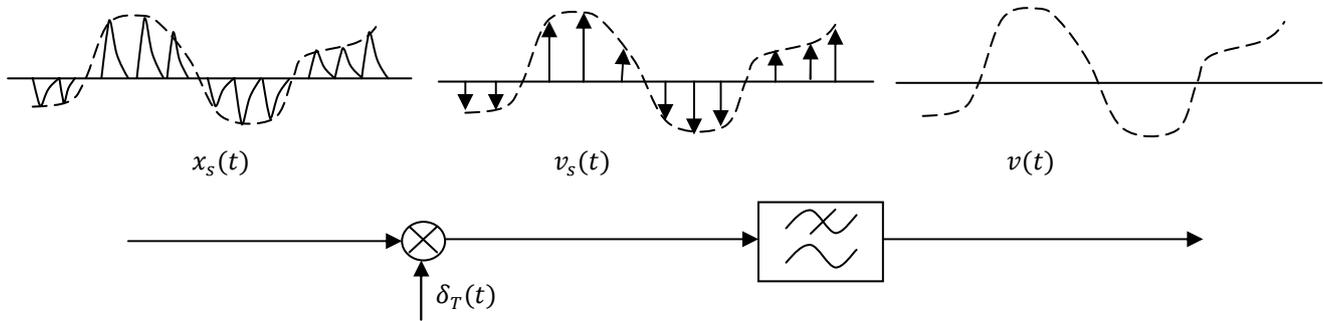


Figura 1.7.4b Otra Forma De Recuperar a $v(t)$

1.8 Transformada de LAPLACE

La Transformada de Laplace es una técnica Matemática que forma parte de ciertas *transformadas integrales* como la transformada de Fourier, la transformada de Hilbert, y la transformada de Mellin entre otras. Estas transformadas están definidas por medio de una integral impropia y cambian una función en una variable de entrada en otra función en otra variable. La transformada de Laplace puede ser usada para resolver Ecuaciones Diferenciales Lineales y Ecuaciones Integrales. Aunque se pueden resolver algún tipo de ED con coeficientes variables, en general se aplica a problemas con coeficientes constantes. Un requisito adicional es el conocimiento de las condiciones iniciales a la misma ED. Su mayor ventaja sale a relucir cuando la función en la variable independiente que aparece en la ED es una función seccionada.

Cuando se resuelven ED usando la técnica de la transformada, se cambia una ecuación diferencial en un problema algebraico. La metodología consiste en aplicar la transformada a la ED y posteriormente usar las propiedades de la transformada. El problema de ahora consiste en encontrar una función en la variable independiente tenga una cierta expresión como transformada.

Ir a índice

Definición de la Transformada

Sea f una función definida para, $t \geq 0$ la **transformada de Laplace** de $f(t)$ se define como

Inversor Controlado Por Modulación De Ancho De Pulso Digital

$$L\{f(t)\} = \int_0^{+\infty} e^{-st} f(t) dt \dots \text{Ecuación 1.58}$$

Cuando tal integral converge

1. La letra s representa una nueva variable, que para el proceso de integración se considera constante
2. La transformada de Laplace convierte una función en t en una función en la variable s
3. Condiciones para la existencia de la transformada de una función:
 1. De orden exponencial
 2. Continua a trozos

Definición de la Transformada Inversa

La Transformada inversa de una función en s , digamos $F(s)$ es una función de t cuya transformada es precisamente $F(s)$, es decir

$$L^{-1}\{F(s)\} = f(t) \dots \text{Ecuación 1.59}$$

si es que acaso

$$L\{f(t)\} = F(s) \dots \text{Ecuación 1.60}$$

Esta definición obliga a que se cumpla:

$$L[L^{-1}\{F(s)\}] = F(s) \dots \text{Ecuación 1.61}$$

y

$$L^{-1}[L\{f(t)\}] = f(t) \dots \text{Ecuación 1.62}$$

Tabla de Transformadas

1. $L\{1\} = \frac{1}{s}; L^{-1}\left[\frac{1}{s}\right] = 1 \dots \text{Ecuación 1.63}$

2.

$$L\{t\} = \frac{1}{s^2}; L^{-1}\left[\frac{1}{s^2}\right] = t \dots \text{Ecuación 1.64}$$

3.

$$L\{t^2\} = \frac{2}{s^3}; L^{-1}\left[\frac{1}{s^3}\right] = \frac{1}{2} t^2 \dots \text{Ecuación 1.65}$$

4.

$$L[t^n] = \frac{n!}{s^{n+1}}; L^{-1}\left[\frac{1}{s^{n+1}}\right] = \frac{1}{n!}t^n \dots \dots \text{Ecuación 1.66}$$

$$L[t^\alpha] = \frac{r(\alpha+1)}{s^{\alpha+1}}; L^{-1}\left[\frac{1}{s^{\alpha+1}}\right] = \frac{1}{r(\alpha+1)}t^\alpha \dots \dots \text{Ecuación 1.67}$$

5. Obtención Para $s > a$

$$L[e^{at}] = \frac{1}{s-a}; L^{-1}\left[\frac{1}{s-a}\right] = e^{-at} \dots \dots \text{Ecuación 1.68}$$

6. Obtención

$$L[\text{c\~{o}s}(\omega t)] = \frac{s}{s^2 + \omega^2}; L^{-1}\left[\frac{1}{s^2 + \omega^2}\right] \\ = \text{c\~{o}s}(\omega t) \dots \dots \text{Ecuación 1.69}$$

7. Obtención

$$L[\text{sen}(\omega t)] = \frac{\omega}{s^2 + \omega^2}; L^{-1}\left[\frac{1}{s^2 + \omega^2}\right] \\ = \frac{1}{\omega} \text{sen}(\omega t) \dots \dots \text{Ecuación 1.70}$$

8. Obtención

$$L[\text{c\~{o}sh}(\omega t)] = \frac{s}{s^2 + \omega^2}; L^{-1}\left[\frac{s}{s^2 + \omega^2}\right] \\ = \text{c\~{o}sh}(\omega t) \dots \dots \text{Ecuación 1.71}$$

9. Obtención

$$L[\text{senh}(\omega t)] = \frac{\omega}{s^2 + \omega^2}; L^{-1}\left[\frac{1}{s^2 + \omega^2}\right] \\ = \frac{1}{\omega} \text{senh}(\omega t) \dots \dots \text{Ecuación 1.72}$$

Inversor Controlado Por Modulación De Ancho De Pulso Digital

1.9 TRANSFORMADA Z

En las matemáticas y procesamiento de señales, la **Transformada Z** convierte una señal que esté definida en el dominio del tiempo discreto (que es una secuencia de números reales) en una representación en el dominio de la frecuencia compleja.

La ecuación 1.56 define una serie infinita de potencias de e^{-snT} . La transformada Z se define por:

$$Z = e^{sT} \dots \dots \text{Ecuación 1.73}$$

La transformada Z de la función $r(t)$ es $Z[r(t)] = R(z)$ está dada por:

$$R(z) = \sum_{n=0}^{\infty} r(nT)z^{-n} \dots \dots \text{Ecuación 1.74}$$

Nótese que la transformada Z consiste de una serie infinita dentro de la variable compleja z , y
Ecuación.

$$R(z) = r(0) + r(T)z^{-1} + r(2T)z^{-2} + r(3T)z^{-3} \dots \dots \dots \text{Ecuación 1.75}$$

Donde $r(nT)$ son coeficientes de las series de potencia en diferentes instantes de muestreo. La transformada Z es usada en sistemas de muestreo de datos justo como la transformada de Laplace es usada en sistemas de tiempo continuo. La respuesta de sistemas de datos muestreados puede ser determinado por la transformada Z de la salida y después calculando la inversa de la transformada Z.

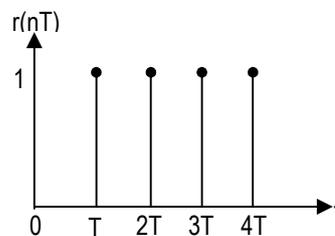


Figura 1.9a función escalón unitario.

Justo como las técnicas de la transformada de Laplace usadas en sistemas de tiempo continuo. Ahora veremos cómo podemos encontrar la transformada z de algunas funciones usadas comúnmente.

Inversor Controlado Por Modulación De Ancho De Pulso Digital

Función de escalón unitario.

Considere una función de escalón unitario como en la figura 1.9a, definida como

$$r(nT) = \begin{cases} 0, & n < 0. \\ 1, & n \geq 0. \end{cases} \dots \dots \dots \text{Ecuación 1.76}$$

De 1.59

$$R(z) = \sum_{n=0}^{\infty} z^{-n} = 1 + z^{-1} + z^{-2} + z^{-3} + z^{-4} + \dots \dots \dots \text{Ecuación 1.77}$$

O

$$R(z) = \frac{z}{z-1}, \quad \text{donde } |z| > 1 \dots \dots \dots \text{Ecuación 1.78}$$

Función De Rampa Unitaria

Considérese una función rampa unitaria como se muestra en la figura 1.9b, definida por:

$$r(nT) = \begin{cases} 0, & n < 0. \\ nT, & n \geq 0. \end{cases} \dots \dots \dots \text{Ecuación 1.79}$$

De 1.59

$$R(z) = \sum_{n=0}^{\infty} r(nT)z^{-n} = \sum_{n=0}^{\infty} nTz^{-n} = Tz^{-1} + 2Tz^{-2} + 3Tz^{-3} + 4Tz^{-4} + \dots \dots \dots \text{Ecuación 1.80}$$

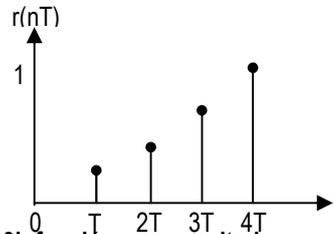


Figura 1.9b función rampa unitaria.

Función seno:

Considérese la función seno definida por:

$$r(nT) = \begin{cases} 0, & n < 0. \\ \sin n\omega T, & n \geq 0. \end{cases} \dots \dots \dots \text{Ecuación 1.81}$$

Inversor Controlado Por Modulación De Ancho De Pulso Digital

Simplificada por:

$$\sin x = \frac{e^{jx} - e^{-jx}}{2j} \dots \dots \dots \text{Ecuación 1.82}$$

Por lo tanto

$$r(nT) = \frac{e^{jx} - e^{-jx}}{2j} = \frac{e^{jx}}{2j} - \frac{e^{-jx}}{2j} \dots \dots \text{Ecuación 1.83}$$

Pero conociendo la ecuación de la transformada Z de una función exponencial está dada por:

$$R(e^{-anT}) = R(z) = \frac{z}{z - e^{-aT}} \dots \dots \text{Ecuación 1.84}$$

Sustituyendo en 1.68 obtenemos:

$$\begin{aligned} R(z) &= \frac{1}{2j} \left(\frac{z}{z - e^{j\omega T}} - \frac{z}{z - e^{-j\omega T}} \right) \\ &= \frac{1}{2j} \left(\frac{z(e^{j\omega T} - e^{-j\omega T})}{z^2(e^{j\omega T} + e^{-j\omega T}) + 1} \right) \dots \dots \text{Ecuación 1.85} \end{aligned}$$

O

$$R(z) = \frac{z \sin \omega T}{z^2 - 2z \cos \omega T + 1} \dots \dots \text{Ecuación 1.86}$$

TABLAS DE LA TRANSFORMADA Z

Una tabla para la transformada para funciones usadas comúnmente, está dada en la tabla 1.9a

$f(kT)$	$f(z)$
$\delta(t)$	$\frac{1}{z}$
1	$\frac{z-1}{Tz}$
kT	$\frac{(z-1)^2}{z}$
e^{-akT}	$\frac{z - e^{-aT}}{Tze^{-aT}}$
kTe^{-akT}	$\frac{z}{(z - e^{-aT})^2}$
a^k	$\frac{z-a}{z(1 - e^{-aT})}$
$1 - e^{-akT}$	$\frac{z-1}{(z-1)(z - e^{-aT})}$

Inversor Controlado Por Modulación De Ancho De Pulso Digital

$\sin akT$	$\frac{z \sin \omega T}{z^2 - 2z \cos \omega T + 1}$
$\cos akT$	$\frac{z(z - \cos aT)}{z^2 - 2z \cos aT + 1}$

Tabla 1.9a

Propiedades

- **Linealidad.** La TZ de una combinación lineal de dos señales en el tiempo es la combinación lineal de sus transformadas en Z.

$$Z(a_1 x_1 [n] + a_2 x_2 [n]) = a_1 Z(x_1 [n]) + a_2 Z(x_2 [n]) \dots \dots \dots \text{Ecuación 1.87}$$

- **Desplazamiento temporal.** Un desplazamiento de k hacia la derecha en el dominio del tiempo es una multiplicación por z^{-k} en el dominio de Z.

$$Z(x[n - k]) = z^{-k} Z(x[n]) \dots \dots \dots \text{Ecuación 1.88}$$

- **Convolución.** La TZ de la convolución de dos señales en el tiempo es el producto de ambas en el dominio de Z.

$$Z(\{x[n]\} * \{y[n]\}) = Z(\{x[n]\}) Z(\{y[n]\}) \dots \dots \dots \text{Ecuación 1.89}$$

- **Diferenciación.**

$$Z(\{nx[n]\}) = -z \frac{dZ(\{x[n]\})}{dz} \dots \dots \dots \text{Ecuación 1.90}$$

1.9.1 Transformada Inversa de Z

La inversa de la transformada Z es obtenida de una forma similar a la inversa de la transformada de Laplace. Generalmente la transformada Z son los cocientes de los polinomios de la variable compleja Z, con el numerador polinomial dado por un orden no más alto del denominador. Para encontrar la inversa de transformada Z debemos de encontrar la secuencia asociada por el polinomio dado por la transformada Z. así como esta dado en el caso de la transformada inversa de Laplace, nosotros estamos interesados en el tiempo de respuesta de salida de un sistema. Así como, nosotros usamos una inversa de la transformada para obtener $y(t)$ de $Y(z)$. Existen diferentes métodos para encontrar la transformada inversa de una función dada. Los siguientes métodos serán descritos:

Inversor Controlado Por Modulación De Ancho De Pulso Digital

- Series de potencia(división larga):
- Expandiendo Y(z) in fracciones parciales y usando tablas de transformada Z para encontrar la inversa de la transformada;
- Obtener la inversa de la transformada Z usando una integral inversa.

Dada una función Y(z), podemos encontrar los coeficientes de la secuencia asociada y(nT) a los instantes de muestreo usando la inversa de la transformada Z. la función de tiempo y(t) se puede determinar cómo.

$$y(t) = \sum_{n=0}^{\infty} y(nT)\delta(t - nT) \dots \dots \text{Ecuación 1.91}$$

Método 1:

Series de poder: este método involucra la división del denominar Y(z) en el numerador con lo cual las series de potencia tendrán la forma:

$$Y(z) = y_0 + y_1z^{-1} + y_2z^{-2} + y_3z^{-3} + \dots \dots \dots 1.92$$

Nótese que el valor y (n) son los coeficientes en las series de potencia.

Ejemplo:

Realizar la anti-transformada de la función seno.

$$f(z) = \frac{Z \sin w T_m}{Z^2 - 2Z \cos wt_m + 1} \dots \dots \dots \text{Ecuación 1. 93}$$

Donde:

w=377 rad/seg

T_m= 0.694mS.

$$f(z) = \frac{Z \sin \left(\frac{377 \text{rad}}{\text{seg}} \right) * (0.694 \text{mS})}{Z^2 - 2Z \cos \left(\frac{377 \text{rad}}{\text{seg}} \right) * (0.694 \text{mS}) + 1}$$

Realizando la división de la función.

Inversor Controlado Por Modulación De Ancho De Pulso Digital

$$f(z) = \frac{0.2587Z}{Z^2 - 1.9319Z + 1}$$

$$0.258Z^{-1} + 0.499Z^{-2} + 0.707Z^{-3} + 0.866Z^{-4} + 0.966Z^{-5} + 1Z^{-6} + 0.966Z^{-7} + 0.866Z^{-8} + 0.707Z^{-9} + 0.499Z^{-10} + 0.258Z^{-11} + 0Z^{-12}$$

$$Z^2 - 1.9319 + 1 \left| \begin{array}{l} 0.258Z \\ \hline 0.258Z + 0.499 - 0.258Z^{-1} \\ \hline 0 + 0.499 - 0.258Z^{-1} \\ \hline -0.499 + 0.966Z^{-1} - 0.499Z^{-2} \\ \hline 0 + 0.707Z^{-1} - 0.499Z^{-2} \end{array} \right.$$

La secuencia obtenida es:

$$\begin{aligned} v(kT) = & 0.2587\delta(k-1) + 0.4999\delta(k-2) + 0.7071\delta(k-3) \\ & + 0.8660\delta(k-4) + 0.9664\delta(k-5) + \delta(k-6) \\ & + 0.9664\delta(k-7) + 0.8660\delta(k-8) + 0.7071\delta(k-9) \\ & + 0.4999\delta(k-10) + 0.2587\delta(k-11) + 0\delta(k-12) \end{aligned}$$

1.10 Sistema.

Es una combinación de los componentes que actúan juntos y realizan un objetivo determinado, este no es necesariamente físico, el concepto de sistema se aplica a fenómenos abstractos y dinámicos, tales como los que se encuentran en la economía, por lo tanto la palabra de sistema debe interpretarse como una implicación de sistemas físicos, biológicos, económicos y similares.

Clasificación según su comportamiento:

a) Sistema de lazo abierto: Es aquel sistema en el que la acción está relacionada con la entrada pero su efecto es independiente de la salida. Estos sistemas se caracterizan por tener la capacidad para poder establecer una relación entre la entrada y la salida con el fin de lograr la exactitud deseada. No tienen el problema de la inestabilidad.

b) Sistema de lazo cerrado: Son los sistemas en los que la acción de control esta en forma dependiente de la salida; caracterizándose por su propiedad de retroalimentación. Pero son susceptibles a tornarse inestables.

1.10.1 Sistemas electrónicos de potencia.

Los equipos electrónicos de potencia, constituyen el enlace fundamental entre los sistemas generadores de potencia y las cargas. Los mismos constan de una parte de potencia y una parte de control. La sección de potencia convierte la energía de la fuente a la requerida por la carga. Está compuesta por dispositivos semiconductores de potencia tales como diodos tiristores, transistores y circuitos integrados de potencia.

Inversor Controlado Por Modulación De Ancho De Pulso Digital

Para el control de la parte eléctrica, es necesaria la conversión de potencia eléctrica de una a otra forma, y que las características de conmutación de los dispositivos de potencia permitan esas conversiones. Los convertidores estáticos de potencia hacen esas funciones de conversiones de potencia.

Los circuitos electrónicos de potencia se pueden clasificar en seis tipos:

1. rectificadores de diodos.
2. Convertidores de CA-CD (rectificadores controlados).
3. Convertidores de CA-CA (controladores de voltaje de CA).
4. Convertidores de CD-CD
5. Convertidores de CD-CA (inversores)
6. Interruptores estáticos.

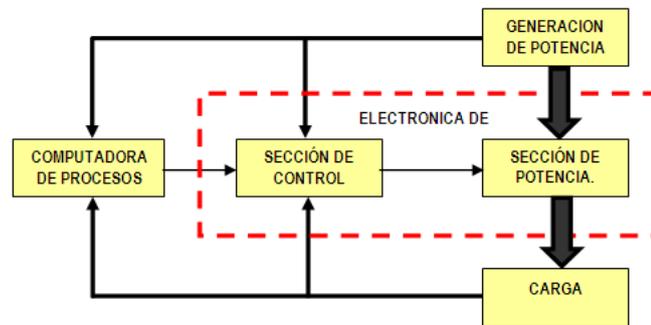


FIGURA 1.10.1

1.10.2 Aplicación de los convertidores electrónicos de potencia.

Principales aplicaciones de los convertidores:

- Fuentes de alimentación. En la actualidad han cobrado gran importancia un subtipo de fuentes de alimentación electrónicas, denominadas fuentes de alimentación conmutadas. Estas fuentes se caracterizan por su elevado rendimiento y reducción de volumen necesario. El ejemplo más claro de aplicación se encuentra en la fuente de alimentación de los ordenadores.
- Control de motores. La utilización de los convertidores electrónicos permite controlar parámetros tales como la posición, velocidad o par suministrado por un motor. Este tipo de control se utiliza en la actualidad en los sistemas de aire acondicionado. Esta técnica denominada comercialmente como "inverter" sustituye el antiguo control encendido/apagado por una regulación de velocidad que permite ahorrar energía.
- Calentamiento por inducción. Consiste en el calentamiento de un material conductor a través del campo generado por un inductor. La alimentación del inductor se realiza a alta frecuencia, generalmente en el rango de los KHZ, de manera que se hacen necesarios convertidores electrónicos de frecuencia. La aplicación más vistosa se encuentra en las cocinas de inducción actuales.

Inversor Controlado Por Modulación De Ancho De Pulso Digital

- Además de las ya mencionadas destacan: sistemas de alimentación interrumpida, sistemas de control del factor de potencia, balastos electrónicos para iluminación a alta frecuencia, etc.
- Pero una de las más importantes está relacionada con el medio ambiente, pues la electrónica de potencia juega un papel muy importante en la investigación y desarrollo de las fuentes de energía alternativa, o sea, aquellas en donde la generación de esta esté libre de polución. Actualmente el empleo de las fuentes de energía alternativa se ha hecho más necesaria, pues las fuentes energéticas no renovables, son cada vez más difíciles de sustraer, por lo que en este momento el uso de fuentes alternas como la energía solar, se vuelve cada vez más viable ya que esta proporciona una solución limpia, barata y sobre todo renovable, y con esto garantizar una aprovechamiento y mejor distribución de esta energía.

En la actualidad esta disciplina está cobrando cada vez más importancia debido principalmente a la elevada eficiencia de los convertidores electrónicos en comparación a los métodos tradicionales, y a su mayor versatilidad. Un paso imprescindible para que se produjera esta revolución fue el desarrollo de los dispositivos capaces de manejar las elevadas potencias necesarias en tareas de distribución eléctrica o manejo de potentes motores.

1.11 Microprocesadores

1.11.1 *Que es un microprocesador.*

El microprocesador, es el cerebro de la computadora. Es un Circuito Integrado (CI), un tipo de componente electrónico en cuyo interior existen millones de elementos llamados transistores, cuya combinación permite realizar el trabajo que tenga encomendado el CI. Dentro de un microprocesador existe una zona llamada núcleo, que es donde se llevan a cabo todas las acciones que representen un cálculo matemático o lógico.

La tendencia de los últimos años ha sido la de integrar más núcleos dentro de un mismo empaque, es decir dentro de un mismo microprocesador, además de componentes como memorias Cache y controladores de memoria, elementos que antes estaban montados sobre la placa base como dispositivos individuales

Los microprocesador, suelen tener forma de cuadrado o rectángulo negro, y van o bien sobre un elemento llamado zócalo (socket en inglés) o soldados en la placa, en el caso del Pentium actual, metidos dentro de una especie de cartucho que se conecta en la placa base (aunque el CI en sí está soldado en el interior de dicho cartucho).

Partes de un microprocesador

Inversor Controlado Por Modulación De Ancho De Pulso Digital

Unidad central de proceso: Circuito que interpreta y ejecuta instrucciones. La CPU se ocupa del control y el proceso de datos en las computadoras. El microprocesador de la CPU está formado por una unidad aritmético lógica que realiza cálculos y comparaciones, y toma decisiones lógicas; por una serie de registros donde se almacena información temporalmente, y por la unidad de control que interpreta y ejecuta las instrucciones.

La memoria caché: una memoria ultrarrápida que sirve al micro para tener a mano ciertos datos que previsiblemente será utilizada en las siguientes operaciones sin tener que acudir a la memoria RAM, reduciendo el tiempo de espera. Es lo que se conoce como caché de primer nivel; es decir, la que está más cerca del micro, tanto que está junto a él. Todos los micros tipo Intel desde el 486 tienen esta memoria, también llamada caché interna.

El coprocesador matemático: o, más correctamente, la FPU (Floating Point Unit, Unidad de coma Flotante). Parte del micro especializada en esa clase de cálculos matemáticos; también puede estar en el exterior del micro, en otro CI.

1.11.2 Que es un microcontrolador.

Un **microcontrolador** es un circuito integrado que incluye en su interior las tres unidades funcionales de una computadora: CPU, Memoria y Unidades de E/S. Un microprocesador se emplea para controlar el funcionamiento de una tarea determinada y debido a su reducido tamaño, suele ir incorporando en el propio dispositivo al que gobierna por eso se le denomina "controlador incrustado". Sus líneas de E/S soportan en conexionado de los sensores y actuadores del dispositivo a controlar y todos los recursos complementarios disponibles tienen como única finalidad atender sus requerimientos.

Un microprocesador posee todos los componentes de una computadora, pero con algunas características fijas que no pueden alterarse.

Las partes principales de un microcontrolador son:

1. Procesador o CPU (unidad central de proceso).
2. Memoria RAM para contener los datos.
3. Memoria de lectura y escritura, para guardar los datos.
4. Líneas de E/S para los controladores periféricos.
 - a) comunicación serie
 - b) comunicación paralelo.
 - c) Diversos puertos de comunicación y módulos necesarios.

1.11.3 Diferencias entre un microprocesador y un Microcontrolador:

Inversor Controlado Por Modulación De Ancho De Pulso Digital

- La configuración mínima básica de un Microprocesador está constituida por un Micro de 40 Pines, Una memoria RAM de 28 Pines, una memoria ROM de 28 Pines y un decodificador de direcciones de 18 Pines;
- Microcontrolador incluye todo estos elementos del Microprocesador en un solo Circuito Integrado por lo que implica una gran ventaja en varios factores: por ejemplo en el circuito impreso por su simplificación de circuitería.
- El costo para un sistema basado en Microcontrolador es mucho menor, mientras que para del Microprocesador, es muy alto en la actualidad.
- El tiempo de desarrollo en un proyecto electrónico es menor para los Microcontroladores.
- En los microcontroladores tradicionales todas las operaciones se realizan sobre el acumulador. La salida del acumulador está conectada a una de las entradas de la Unidad Aritmética y Lógica (ALU), y por lo tanto este es siempre uno de los dos operandos de cualquier instrucción, las instrucciones de simple operando (borrar, incrementar, decrementar, complementar), actúan sobre el acumulador.
- En los microcontroladores PIC, la salida de la ALU va al registro W y también a la memoria de datos, por lo tanto el resultado puede guardarse en cualquiera de los dos destinos.
- La gran ventaja de esta arquitectura(Microcontroladores) es que permite un gran ahorro de instrucciones ya que el resultado de cualquier instrucción que opere con la memoria, ya sea de simple o doble operando, puede dejarse en la misma posición de memoria o en el registro W, según se seleccione con un bit de la misma instrucción . Las operaciones con constantes provenientes de la memoria de programa (literales) se realizan solo sobre el registro W.

1.12 Que es un PIC.

Los circuitos integrados programables PIC son componentes sumamente útiles en la electrónica de consumo, aún cuando son conocidos desde hace más de 20 años, existen en la actualidad nuevos tipos que cumplen con una serie de requisitos y características sumamente útiles.

Una característica del PIC es el uso de un conjunto de instrucciones del tipo RISC (Reducen Instruction Set computer). Con el RISC se suele ejecutar la mayoría de instrucciones con un solo pulso del clock.

En los procesadores PIC se usa solo un registro de trabajo, el registro W. esto parece ser poco común, pero se explica por el echo de muchas operaciones que el RISC ejecuta, almacenan su resultado en la RAM o en el registro W, lo que aumenta su capacidad.

Inversor Controlado Por Modulación De Ancho De Pulso Digital

Una consecuencia de la arquitectura RISC es la reducida cantidad de instrucciones que llega solo a 35. Estas instrucciones pueden sin embargo, combinarse para hacer instrucciones más complejas que solucionen problemas satisfactoriamente, compone solo de 35 parámetros de los cuales suelen emplearse con asiduidad solamente 15.

Características

Los PIC actuales vienen con una amplia gama de mejoras hardware incorporados:

- Núcleos de UCP de 8/16 bits con Arquitectura Harvard modificada
- Memoria Flash y ROM disponible desde 256 bytes a 256 kilobytes
- Puertos de E/S (típicamente 0 a 5,5 voltios)
- Temporizadores de 8/16 bits
- Tecnología Nanowatt para modos de control de energía
- Periféricos serie síncronos y asíncronos: USART, AUSART, EUSART
- Conversores analógico/digital de 8-10-12 bits
- Comparadores de tensión
- Módulos de captura y comparación PWM
- Controladores LCD
- Periférico MSSP para comunicaciones I²C, SPI, y I²S
- Memoria EEPROM interna con duración de hasta un millón de ciclos de lectura/escritura
- Periféricos de control de motores
- Soporte de interfaz USB
- Soporte de controlador Ethernet
- Soporte de controlador CAN
- Soporte de controlador LIN
- Soporte de controlador Irda

INVERSORES

2.1 Inversores.

La función de un inversor es cambiar un voltaje de entrada de corriente directa a un voltaje simétrico de salida de corriente alterna, con la magnitud y frecuencia deseada.

En los inversores ideales, las formas de onda del voltaje de salida deberían ser senoidales. Sin embargo, en los inversores reales no son senoidales y contienen ciertas armónicas. Para aplicaciones de baja y mediana potencia, se pueden aceptar los voltajes de onda cuadrada o casi cuadrada; para aplicaciones de alta potencia, son necesarias las formas de onda senoidales de baja distorsión. Dada la disponibilidad de los dispositivos semiconductores de potencia de alta velocidad, es posible minimizar o reducir significativamente el contenido armónico del voltaje de salida mediante diferentes técnicas de conmutación.

El uso de los inversores es muy común en aplicaciones industriales tales como la propulsión de motores de CA. de velocidad variable, la calefacción por inducción, las fuentes de respaldo y las de poder, alimentaciones ininterrumpibles de potencia, y sistemas generadores de energía alterna como lo son celdas fotovoltaicas, generadores eólicos, etc.

2.2 Principio de operación de un inversor en medio y puente completo.

Mediante la Figura 2.2a se puede explicar el principio de funcionamiento de los inversores. El circuito inversor está formado básicamente por dos transistores. Cuando solo el transistor Q1 está activo durante el tiempo $T_o/2$, el voltaje instantáneo a través de la carga V_o es $V_s/2$. Si solo el transistor Q2 está activo durante un tiempo $T_o/2$, aparece el voltaje $-V_s/2$ a través de la carga. El circuito lógico debe diseñarse de tal forma que Q1 y Q2 no estén activos simultáneamente. La grafica 2.2b muestra las formas de onda para los voltajes de salida y las corrientes de los transistores en el caso de una carga resistiva, cuando un transistor está inactivo, su voltaje inverso es V_s , en vez de $V_s/2$. Este inversor se le conoce como inversor de medio puente.

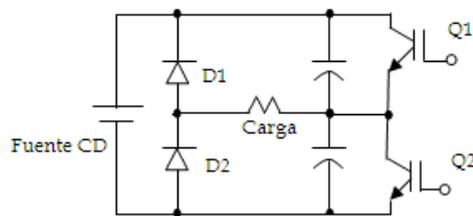


FIGURA 2.2 a

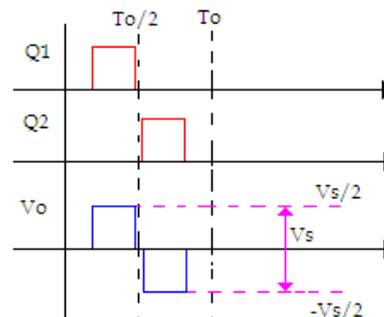


FIGURA 2.2 b

Inversor Controlado Por Modulación De Ancho De Pulso Digital

Un inversor monofásico de puente completo aparece en la figura. 2.2 c Esta formado por cuatro transistores. Cuando los transistores Q1 y Q2 se activan simultáneamente, el voltaje de entrada V_s aparece a través de la carga. Si los transistores Q3 y Q4 se activan al mismo tiempo, el voltaje a través de la carga se invierte, y adquiere el valor $-V_s$.

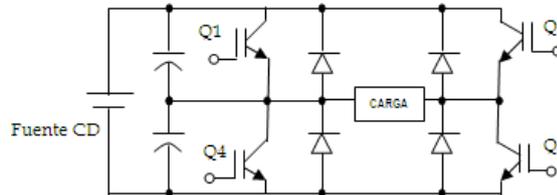


FIGURA 2.2 c

2.3 Clasificación de Inversores.

Los inversores se pueden clasificar básicamente en dos tipos: *Inversores monofásicos* e *inversores trifásicos*. Cada dispositivo puede utilizar dispositivos con activación y desactivación controlada (es decir BJT, MOSFET, IGBT, MCT, SIT, GTO) o tiristores de conmutación forzada, según la aplicación. Estos inversores utilizan por lo general señales de control PWM (Modulación de Ancho de Pulso), para producir un voltaje de salida en CA.

Un inversor se llama inversor alimentado por voltaje (VFI), si el voltaje de entrada se conserva constante; inversor alimentado por corriente (CFI), si la corriente de entrada se mantiene constante; el inversor enlazado en CD. Variable si el voltaje de entrada es controlable.

Los inversores controlados son de dos tipos: los inversores fuente de voltaje (VSI) y los inversores fuente de corriente (CSI). Existen dos categorías en las que se dividen los VSI, ellas son:

- a. Los inversores de onda cuadrada. Este tipo controla la frecuencia de la señal de salida y la magnitud de salida es controlada por otro dispositivo en la entrada CD del inversor. Sin embargo, la forma de onda lograda a través del mismo es una onda cuadrada.
- b. Los inversores PWM o de ancho de pulso modulado. Este tipo es capaz de controlar la magnitud y frecuencia de la señal de salida mediante la modulación del ancho del pulso de los interruptores del inversor. Para ello existen varios circuitos que se encargan de producir voltajes de CA con forma de onda senoidal y bajo contenido de armónicos.

Inversor Controlado Por Modulación De Ancho De Pulso Digital

2.4 Tipos de inversores

2.4.1 Inversor de onda cuadrada.

Se conoce por onda cuadrada a la forma de onda que alterna su valor entre dos valores extremos sin pasar por los valores intermedios.

Se usa principalmente para la generación de pulsos eléctricos que son usados como señales (1 y 0) que permiten ser manipuladas fácilmente, un circuito electrónico que genera ondas cuadradas se conoce como generador de pulsos, este tipo de circuitos es la base de la electrónica digital

El contenido espectral de una onda cuadrada se compone exclusivamente de armónicos impares (f , $3f$, $5f$, etc.), extendiéndose a frecuencias más elevadas, cuanto más abruptos sean sus flancos.

Esto tiene dos consecuencias:

La capacitancia y auto inductancia parásitas filtran la señal, eliminando las componentes de mayor frecuencia, con lo que la onda cuadrada se degrada, tomando un aspecto cada vez más redondeado.

Por otro lado, señales muy abruptas producen radiación de alta frecuencia, dando problemas de compatibilidad electromagnética y acoplos (diafonía) entre pistas. Por ello ciertas familias lógicas como Q-mos (Quit-mos) controlan la pendiente de los flancos de la señal, evitando que sean demasiado abruptos.

Un inversor simple de onda cuadrada consta de un oscilador que controla a un transistor, el cual es utilizado para interrumpir o dar paso a la corriente entrante y generar así una señal de forma onda cuadrada.

Esta onda cuadrada alimenta a un transformador que suaviza su forma, haciéndola parecer un poco más una onda senoidal y produciendo el voltaje de salida necesario.

Un inversor de este tipo es capaz de controlar la frecuencia de la tensión de salida, pero no su magnitud, así que para controlar el valor de esta tensión de salida se requiere variar la tensión de entrada.

En un inversor de onda cuadrada cada interruptor del inversor, se encuentra cerrado durante la mitad de un ciclo (180°), es decir que cuando un interruptor se encuentra activo, el otro se encuentra desactivo y viceversa en el siguiente medio ciclo, esto da origen a que la corriente cambie de dirección cada medio ciclo produciéndose así una tensión alterna de salida $V(t)$ con una onda de forma cuadrada.

Inversor Controlado Por Modulación De Ancho De Pulso Digital

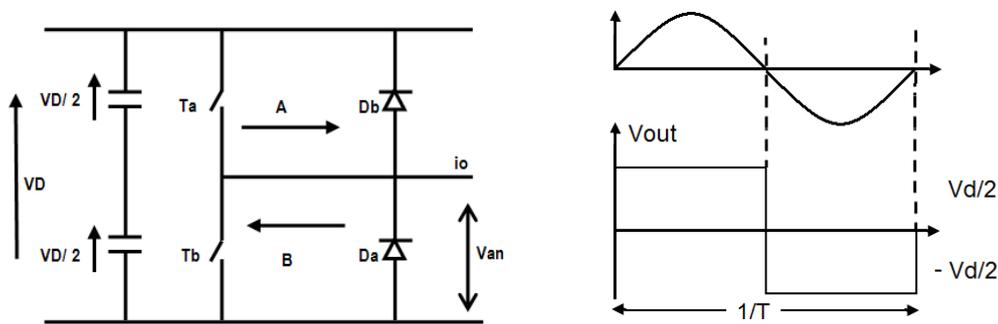


FIGURA 2.4.1 a

Un inversor en onda cuadrada es un caso particular del inversor con conmutación PWM (Modulación de Ancho de Pulso) sobre modulado.

La onda cuadrada de salida es impar y alterada donde los armónicos de orden n únicamente toman valores impares.

2.4.2 Inversor modulado por ancho de pulso (PWM).

En estos inversores, la entrada consiste en una tensión constante, que puede obtenerse a partir de la rectificación no controlada mediante diodos de tensión de red, una batería, acumulador, generador de CD, etc. El inversor controla la magnitud y la frecuencia de la tensión senoidal alterna de salida. Para ello, emplea la modulación de ancho de pulsos PWM en la conmutación de sus interruptores.

Son varias las estrategias que pueden emplearse para controlar la conmutación de los interruptores mediante PWM, de forma que la señal de salida sea lo más parecida a una senoidal.

En muchas aplicaciones industriales es necesario controlar el voltaje de salida de los inversores

- (1) Para contrarrestar las variaciones de entrada de CD.
- (2) para la regulación de los voltajes de los inversores.
- (3) para los requisitos de control constante del voltaje y la frecuencia.

Existen varias técnicas para modificar las ganancias del inversor. El método más eficiente de controlar la ganancia (y por tanto el voltaje de salida) es incorporar en los inversores el control de modulación de ancho de pulso (PWM).

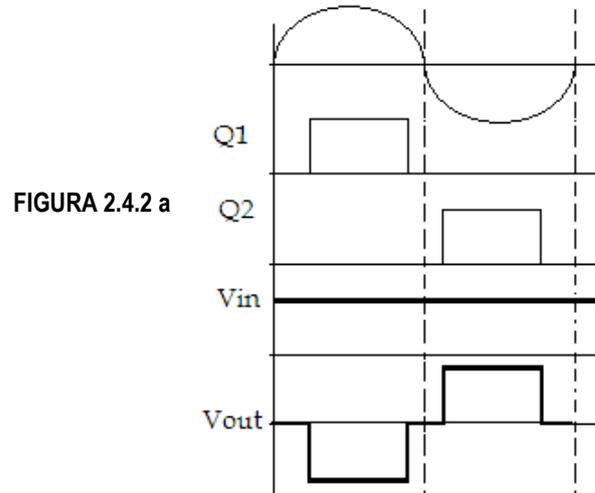
Las técnicas comúnmente utilizadas son:

- Modulación de un solo ancho de pulso.
- Modulación de varios anchos de pulso.
- Modulación senoidal de ancho de pulso.

Inversor Controlado Por Modulación De Ancho De Pulso Digital

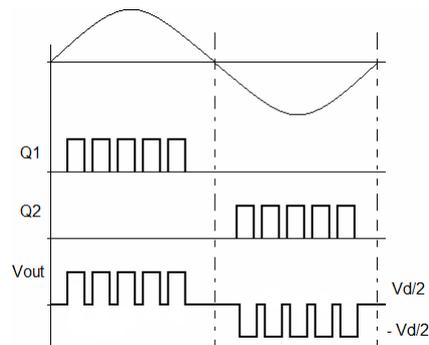
2.4.2.1 Modulación de un solo ancho de pulso.

En el control de modulación de un solo ancho de pulso, existe un solo pulso por cada medio ciclo, el ancho del pulso se hace variar, a fin de controlar el voltaje de salida del inversor. La figura 2.4.2a muestra la generación de las señales de excitación y el voltaje de salida para los inversores monofásicos.



2.4.2.2 Modulación de varios anchos de pulso:

Se puede reducir el contenido de armónicas usando varios pulsos en cada medio ciclo del voltaje de salida. El índice de modulación controla la amplitud de voltaje a la salida. A esta clase de modulación se le llama modulación por ancho de pulso uniforme, figura 2.4.2.2a debido a que todos los pulsos son iguales en su longitud (UPWM).



Inversor Controlado Por Modulación De Ancho De Pulso Digital

2.4.2.3 La Modulación senoidal de Ancho de Pulso (PWM).

Si en vez de mantener igual el ancho de todos los pulsos, como en el caso de la modulación de varios anchos de pulso, este varía en proporción con la amplitud de una onda senoidal evaluada en el centro del mismo pulso. El factor de distorsión y las armónicas de menor orden se reducen en forma significativa. *Este tipo de control es capaz de controlar la magnitud y frecuencia de la señal de salida mediante la modulación del ancho del pulso.*

La construcción más típica de un circuito PWM, también conocida como **Modulación senoidal de ancho de pulso**, se lleva a cabo mediante un comparador con dos entradas y una salida. Una de las entradas se conecta a un oscilador de onda triangular, mientras que la otra queda disponible para la señal moduladora. En la salida la frecuencia es generalmente igual a la de la señal triangular, y el ciclo de trabajo está en función de la portadora, como se muestra en la figura 2.4.2.3a. La principal desventaja que presenta esta configuración es la posibilidad de que haya interferencias generadas por radiofrecuencia. Éstas pueden minimizarse ubicando el controlador cerca de la carga y realizando un filtrado de la fuente de alimentación.

La modulación de ancho de pulso resulta más compleja, ya que también se pretende controlar su frecuencia. Así, para obtener una tensión senoidal de salida a la frecuencia f_1 deseada, se compara una señal de control senoidal (V_{control}) a la frecuencia f_1 con una onda triangular (V_{original}), como se ve en la figura 2.6 a. la frecuencia f_s de la onda triangular establece la frecuencia de conmutación de los interruptores y recibe el nombre de frecuencia portadora.

La señal de control V_{control} modula el ratio de conducción de los interruptores del inversor y su frecuencia f_1 coincide con la frecuencia fundamental de la tensión de salida del convertidor.

Se define la razón de modulación en amplitud m_a como el cociente entre los valores de pico o amplitudes de la tensión de control (V_{control}) y de la onda triangular (V_{original}):

$$m_a = \frac{\hat{V}_{\text{control}}}{\hat{V}_{\text{original}}} \dots \dots \text{Ecuacion 2. 1}$$

Por otro lado la razón de modulación de frecuencia m_f se define como el cociente entre la frecuencia portadora y la frecuencia modulada.

$$m_f = \frac{f_s}{f_1} \dots \dots \text{Ecuacion 2. 2}$$

Inversor Controlado Por Modulación De Ancho De Pulso Digital

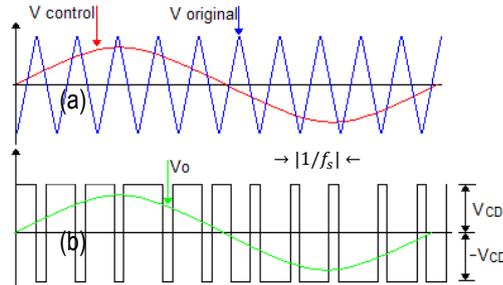


FIGURA 2.4.2.3a

Al comparar la $V_{control}$ y $V_{original}$, se obtienen las siguientes tensiones:

$$\begin{aligned}
 V_{control} > V_{original} & \quad V_0 = \frac{V_{cd}}{2} \\
 V_{control} < V_{original} & \quad V_0 = -\frac{V_{cd}}{2} \dots \dots \text{Ecuacion2.3}
 \end{aligned}$$

Si se considera que $V_{control}$ es constante Como se ve en la figura 2.4.2.3b al compararla con la onda triangular se obtiene la forma de onda de V_0 , por lo tanto el Valor medio V_0 de la tensión de salida en un periodo $T_s = 1/f_s$ es:

$$V_0 = \frac{V_{control}}{\hat{V}_{original}} * \frac{V_{cd}}{2} \quad V_{control} \leq \hat{V}_{original} \dots \dots \text{Ecuacion2.4}$$

Ya que si analizamos la figura 2.7 b se tiene:

$$V_0 = \left[\frac{t_{on}}{T} * \frac{V_{cd}}{2} \right] - \left[\frac{t_{off}}{T} * \frac{V_{cd}}{2} \right] = \left[\frac{t_{off}}{T} * \frac{V_{cd}}{2} \right] * \frac{V_{cd}}{2} = [\delta - (1 - \delta)] * \frac{V_{cd}}{2}$$

$$V_0 = (2 * \delta - 1) * \frac{V_{cd}}{2} \dots \dots \text{Ecuacion2.5}$$

De la ecuación 2.5 obtenemos el ciclo de trabajo, resultando:

$$\delta = \frac{t_{on}}{T} \dots \dots \text{Ecuacion2.6}$$

Inversor Controlado Por Modulación De Ancho De Pulso Digital

Ahora supóngase que $V_{control}$ varía muy poco en cada periodo de conmutación, esto provoca que m_f sea más grande. Por ello, puede considerarse que la señal $V_{control}$ permanece constante en cada periodo T_s , por lo que la ecuación 2.4 indica como varía la tensión media instantáneo de V_0 de un periodo de control al siguiente. Esta tensión media instantánea coincide con la componente de V_0 a frecuencia fundamental.

Si se considera que $V_{control}$ consiste en una senoidal a la frecuencia $f_1 = \omega_1/2\pi$ esto es, a la frecuencia fundamental de la salida del inversor:

$$V_{control} = \hat{V}_{control} \sin(\omega_1 t) \quad \text{donde} \quad \hat{V}_{control} \leq \hat{V}_{original} \dots \dots \quad \text{Ecuacion 2.7}$$

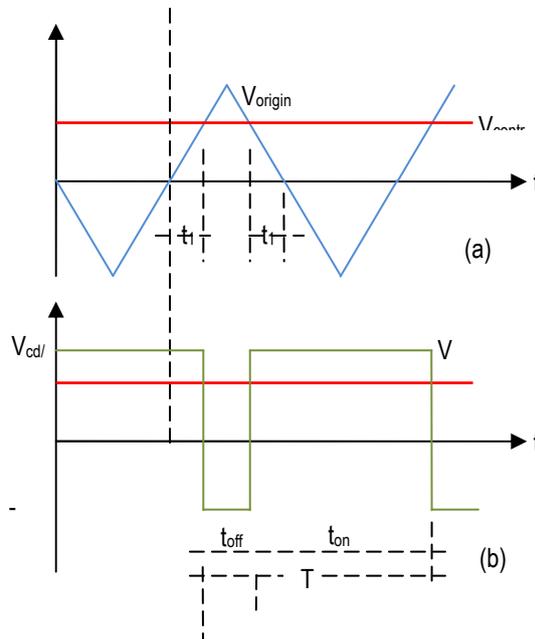


Figura 2.4.2.3
Formas de onda para el control PWM

Ejemplo:
Diseño de un inversor con una frecuencia de 60Hz, Voltaje de control de 1v y Voltaje original de 1v.

Solución:
Obteniendo su modulación de amplitud de la ecuación 2.1 tenemos:

Donde:
 $V_{control} = 1v$
 $V_{original} = 1v$

$$m_a = \frac{1v}{1v} = 1.$$

Inversor Controlado Por Modulación De Ancho De Pulso Digital

Para la modulación en frecuencia utilizando la ecuación 2.2 tenemos:

Donde:

$$f_1 = 60 \text{ Hz}$$

$$f_s = 1440 \text{ Hz.}$$

$$m_f = \frac{1440}{60} = 24$$

Calculando el $V_{control}$.

$$V_{control} = \hat{V}_{control} \sin(\omega_1 t_1)$$

Donde:

$$\omega = 2\pi * f = 376.9 \text{ rad/seg.}$$

$$f = 60 \text{ Hz}$$

$$t = 16.66 \text{ mS.}$$

$$t_1 = t/m_f = 0.69444 \text{ mS.}$$

Obteniendo los coeficientes de la serie tenemos.

$$V1_{control} = 1 \sin\left(\frac{377 \text{ rad}}{\text{seg}} * 0.69444 \text{ mS}\right) = 0.2588$$

$$V2_{control} = 1 \sin\left(\frac{377 \text{ rad}}{\text{seg}} * 2 * 0.69444 \text{ mS}\right) = 0.4999$$

$$V3_{control} = 1 \sin\left(\frac{377 \text{ rad}}{\text{seg}} * 3 * 0.69444 \text{ mS}\right) = 0.7071$$

$$V4_{control} = 1 \sin\left(\frac{377 \text{ rad}}{\text{seg}} * 4 * 0.69444 \text{ mS}\right) = 0.8660$$

$$V5_{control} = 1 \sin\left(\frac{377 \text{ rad}}{\text{seg}} * 5 * 0.69444 \text{ mS}\right) = 0.9659$$

$$V6_{control} = 1 \sin\left(\frac{377 \text{ rad}}{\text{seg}} * 6 * 0.69444 \text{ mS}\right) = 1$$

$$V7_{control} = 1 \sin\left(\frac{377 \text{ rad}}{\text{seg}} * 7 * 0.69444 \text{ mS}\right) = 0.9659$$

$$V8_{control} = 1 \sin\left(\frac{377 \text{ rad}}{\text{seg}} * 8 * 0.69444 \text{ mS}\right) = 0.8660$$

$$V9_{control} = 1 \sin\left(\frac{377 \text{ rad}}{\text{seg}} * 9 * 0.69444 \text{ mS}\right) = 0.7071$$

$$V10_{control} = 1 \sin\left(\frac{377 \text{ rad}}{\text{seg}} * 10 * 0.69444 \text{ mS}\right) = 0.4999$$

$$V11_{control} = 1 \sin\left(\frac{377 \text{ rad}}{\text{seg}} * 11 * 0.69444 \text{ mS}\right) = 0.2588$$

Inversor Controlado Por Modulación De Ancho De Pulso Digital

$$V_{12_{control}} = 1 \sin\left(\frac{377\text{rad}}{\text{seg}} * 12 * 0.69444 \text{ mS}\right) = 0$$

Tomando en cuenta la ecuación 2.6 del ciclo de trabajo se obtiene el tiempo activo de cada pulso.

Despejando t_{on} de 2.6 tenemos:

$$t_{on} = \delta * T \dots \dots \dots \text{Ecuacion 2.8}$$

Da como resultado:

$$t_{1,11_{on}} = (0.2588) * (0.69444\text{mS}) = 0.1797$$

$$t_{2,10_{on}} = (0.499) * (0.69444\text{mS}) = 0.3471$$

$$t_{3,9_{on}} = (0.7071) * (0.69444\text{mS}) = 0.4910$$

$$t_{4,8_{on}} = (0.8660) * (0.69444\text{mS}) = 0.6013$$

$$t_{5,7_{on}} = (0.9659) * (0.69444\text{mS}) = 0.6707$$

$$t_{6_{on}} = (1) * (0.69444\text{mS}) = 0.6944$$

$$t_{12_{on}} = (0) * (0.69444\text{mS}) = 0$$

2.5 Propuesta de un inversor controlado por un Microcontrolador.

Una forma más compleja y efectiva de lograr una Modulación de Ancho de Pulso es la de utilizar una configuración de tal forma que un modulo oscilador, controle el periodo de trabajo de un tren de pulsos con lo cual se verá reflejado el control de la frecuencia a la salida, y a su vez también se controle el período de trabajo de cada uno de los pulsos, con lo cual se controlara la magnitud de la señal de salida es decir el tiempo en que cada pulso se encuentre en un nivel alto de operación, e independiente de cualquier señal externa.

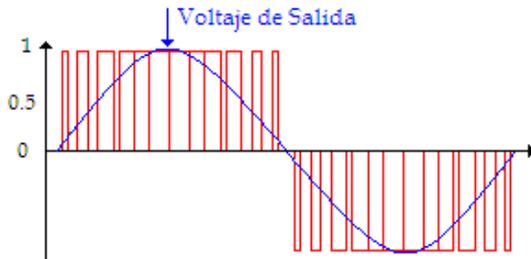


FIGURA 2.5 a

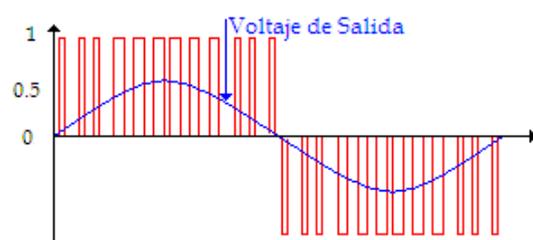


FIGURA 2.7 b

En la figura 2.5 a se puede observar que la magnitud de la señal de salida es proporcional al ancho de los pulsos, y la frecuencia será proporcional al número de veces en que se repitan esta serie de pulsos.

Asegurando con esto una señal de salida libre de indeseadas armónicas y con un control total tanto de su frecuencia así como de su magnitud.

DISEÑO DE UN INVERSOR POR MODULACIÓN DE ANCHO DE PULSO

3.1 Diseño del Inversor.

PWM son las siglas de Pulse Width Modulation o Modulación de ancho de pulso. Hoy en día, muchos de los microcontroladores comerciales son capaces de realizar esta función, que se puede utilizar para conseguir que a partir de una señal digital, la cual solo tiene dos niveles de voltaje (alto y bajo), genere una salida analógica, esto se logra a través de la variación del valor eficaz de la señal.

Modulando el ancho de pulso, de cada uno de los pulsos, del tren de pulsos de la señal, se puede conseguir una señal cuyo valor eficaz varíe de la forma deseada. A un pulso más ancho, el valor eficaz de la señal es mayor, que el de un pulso más corto.

En este proyecto se diseñara un inversor monofásico, que sea capaz de generar una señal lo mas idéntica a la suministrada por la Comisión federal de Electricidad tanto en su magnitud como en su frecuencia es por eso que se han tomado como parámetros, los valores característicos de la señal, que suministra la misma. De esta forma podrá ser usado como un sustituto directo a la energía suministrada por la compañía eléctrica, además de sus aplicaciones consecuentes dentro de la industria

Como primer paso se comienza con el análisis de la onda senoidal pura, la cual tiene una área determinada en cualquiera de sus semiciclos, esto, si se mantiene una amplitud y frecuencias constantes. El principio de este método es dividir este ciclo en intervalos de tiempo regulares y con la inteligencia de que este número de divisiones sea un número par y tomando el mayor numero de muestras posibles, ya que con esto se asegura tener un mejor resultado en el análisis de los semiciclos positivo y negativo, dando como consecuencia una mayor nitidez en la señal de salida.

Se ha elegido que sean 24 las divisiones por periodo de la señal.

Debido a la naturaleza de la señal senoidal se puede confirmar, mediante el análisis de la serie de Fourier que el semiciclo positivo es idéntico al semiciclo negativo y calculando el área correspondiente a cada uno de los periodos PWM (Modulación de Ancho de Pulso), de cada uno de los semiciclos.

Que resultara en un área equivalente al área de la señal senoidal en ese mismo periodo de tiempo, y al final poder utilizar estos resultados tanto en el semiciclo positivo como en el negativo, Figura 3.1 a.

Inversor Controlado Por Modulación De Ancho De Pulso Digital

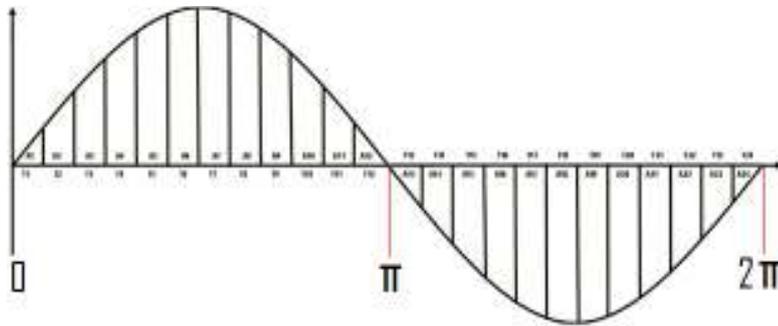


FIGURA 3.1a

En corriente directa se trataran cantidades independientes del tiempo y se deben considerar las propiedades alternantes de las señales eléctricas. La forma de alternación mas simple es la onda senoidal, la representación del voltaje instantaneo V , en el tiempo t , se relaciona con el voltaje máximo o de pico V_p y su representación matematica es.

$$V = V_p \sin Wt \dots \dots \dots \text{ecuación 3.0}$$

Donde:

W = velocidad angular en radianes por segundo.

t = periodo en ciclos.

f = frecuencia en ciclos por segundo.

Son varias las características que definen a una señal periódica y que son de gran importancia cuando se pretende analizar un circuito electrónico con este tipo de señales.

Una señal periodica es aquella cuyo valor instantaneo varia con el tiempo y además se repite transcurrido un cierto periodo T . Figura 3.1 b

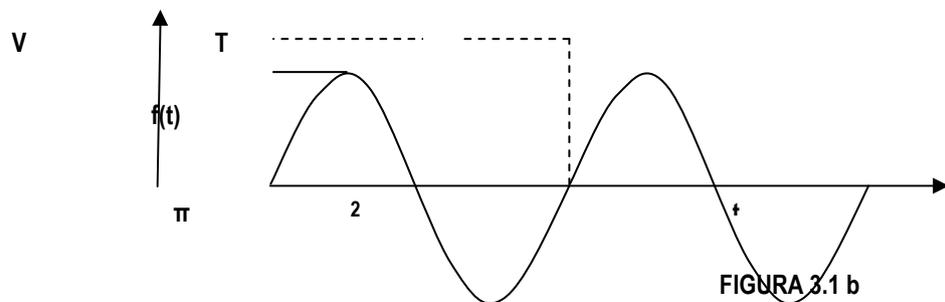


FIGURA 3.1 b

Inversor Controlado Por Modulación De Ancho De Pulso Digital

Otras características de las señales periódicas son el Valor eficaz RMS, “root mean Square” (raíz cuadrada media).

Al circular una corriente de intensidad $i(t)$ por un elemento resistivo puro R , disipa una potencia $P(t)$, esta misma potencia la puede disipar una corriente continua de intensidad I , circulando por dicha R ; de esta forma se puede decir que $i(t)$ tiene un valor eficaz IRMS equivalente a la corriente constante I . lo mismo se puede decir a la tensión eficaz VRMS.

Matemáticamente dada la función $f(t)$ de periodo T , su valor eficaz o raíz cuadrática media es

$$F_{RMS} = \sqrt{1/T \int_0^T f^2(t) dt} \dots \dots \dots \text{Ecuación 3.1}$$

Como ejemplo se va a calcular el valor RMS de la función senoidal correspondiente a la tensión de la red de suministro eléctrico, cuya ecuación representativa es:

$$V_{red} = V_m \sin(Wt) \dots \dots \dots \text{Ecuación 3.2}$$

Donde V_m es la tensión máxima de la señal senoidal y W es la pulsación y vale:

$$W = 2\pi * 1/T_{red} = 2\pi F_{red} \dots \dots \dots \text{Ecuación 3.3}$$

Donde $F_{red} = 60 \text{ HZ}$.

La forma de la señal de la red eléctrica es mostrada en la figura 3.1 c.

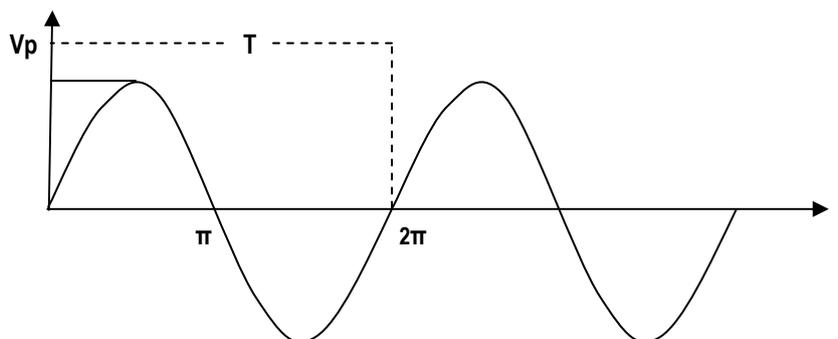


FIGURA 3.1 c

Inversor Controlado Por Modulación De Ancho De Pulso Digital

La tensión eficaz de la red es:

$$V_{rms} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^t (V_m \sin(Wt))^2 dt \dots \dots \dots \text{Ecuación 3.4}}$$

Resolviendo obtenemos que:

$$V_{rms} = \sqrt{V_m^2/2} = V_m/\sqrt{2} \dots \dots \dots \text{Ecuación 3.5}$$

3.1.2 Función discreta.

El cálculo infinitesimal estudia exclusivamente funciones continuas, otra rama de las matemáticas llamada cálculo de diferencias finitas, estudia tanto a las funciones continuas como a las funciones discretas.

Una función continua $F(x)$, se caracteriza porque su variable independiente puede tomar cualquier valor real dentro de un cierto intervalo, en cambio una función discreta $f(x)$ se caracteriza porque x solamente toma valores determinados $x_0, x_1, x_2, \dots, x_k$. Dentro de un cierto intervalo, por lo que el recorrido de la función es:

$$f(x_0), f(x_1), f(x_2), \dots, f(x_k).$$

Para implementar el diseño de un inversor monofásico con pic's necesitamos niveles discretos de 1 y 0, hay que recordar que V_{rms} es equivalente a VCD.

3.1.3 Cálculos para el diseño del inversor

Realizando los cálculos por análisis de señales por medio de la transformada Z para obtener el retardo, tenemos:

De la ecuación 1.69 tenemos la representación de la función seno en Z

$$f(z) = \frac{Z \sin w T_m}{Z^2 - 2Z \cos wt_m + 1}$$

Donde:

$$w=377 \text{ rad/seg}$$

$$T_m= 0.694\text{mS.}$$

Inversor Controlado Por Modulación De Ancho De Pulso Digital

$$f(z) = \frac{Z \sin\left(\frac{377 \text{rad}}{\text{seg}}\right) * (0.694 \text{mS})}{Z^2 - 2Z \cos\left(\frac{377 \text{rad}}{\text{seg}}\right) * (0.694 \text{mS}) + 1}$$

Dando como resultado:

$$f(z) = \frac{0.2587Z}{Z^2 - 1.9319Z + 1}$$

Resolviendo por división para obtener la transformada INVERSA DE Z tenemos:

Inversor Controlado Por Modulación De Ancho De Pulso Digital

$$\begin{array}{r}
 0.258Z^{-1} + 0.499Z^{-2} + 0.707Z^{-3} + 0.866Z^{-4} + 0.966Z^{-5} + 1Z^{-6} + 0.966Z^{-7} + 0.866Z^{-8} + 0.707Z^{-9} + 0.499Z^{-10} + 0.258Z^{-11} + 0Z^{-12} - 0.258Z^{-13} - 0.499Z^{-14} - 0.707Z^{-15} - 0.866Z^{-16} - 0.966Z^{-17} - 1Z^{-18} - 0.966Z^{-19} - 0.866Z^{-20} - 0.707Z^{-21} - 0.499Z^{-22} - 0.258Z^{-23} - 0Z^{-24} \\
 \hline
 Z^2 - 1.9319 + 1 \quad \begin{array}{l} 0.258Z \\ -0.258Z + 0.499 - 0.258Z^{-1} \\ \hline 0 + 0.499 - 0.258Z^{-1} \\ -0.499 + 0.966Z^{-1} - 0.499Z^{-2} \\ \hline 0 + 0.707Z^{-1} - 0.499Z^{-2} \\ -0.707Z^{-1} + 1.3650Z^{-2} - 0.707Z^{-3} \\ \hline 0 + 0.866Z^{-2} - 0.707Z^{-3} \\ -0.866Z^{-2} + 1.6730Z^{-3} - 0.866Z^{-4} \\ \hline 0 + 0.966Z^{-3} - 0.866Z^{-4} \\ -0.966Z^{-3} + 1.866Z^{-4} - 0.966Z^{-5} \\ \hline 0 + 1Z^{-4} - 0.966Z^{-5} \\ -1Z^{-4} + 1.9319Z^{-5} - 1Z^{-6} \\ \hline 0 + 0.966Z^{-5} - 1Z^{-6} \\ -0.966Z^{-5} + 1.866Z^{-6} - 0.966Z^{-7} \\ \hline 0 + 0.866Z^{-6} - 0.966Z^{-7} \\ -0.866Z^{-6} + 1.6730Z^{-7} - 0.866Z^{-8} \\ \hline 0 + 0.707Z^{-7} - 0.866Z^{-8} \\ -0.707Z^{-7} + 1.3650Z^{-8} - 0.707Z^{-9} \\ \hline 0 + 0.499Z^{-8} - 0.707Z^{-9} \\ -0.499Z^{-8} + 0.9660Z^{-9} - 0.499Z^{-10} \\ \hline 0 + 0.258Z^{-9} - 0.499Z^{-10} \\ -0.258Z^{-9} + 0.499Z^{-10} - 0.258Z^{-11} \\ \hline 0 \quad 0 \quad -0.258Z^{-11} \\ 0 \quad 0 \quad 0 \\ \hline -0.257Z^{-11} \end{array}
 \end{array}$$

Inversor Controlado Por Modulación De Ancho De Pulso Digital

$$\begin{array}{r}
 -0.258Z^{-11} \\
 +0.258Z^{-11} - 0.499Z^{-12} + 0.258Z^{-13} \\
 \hline
 0 - 0.499Z^{-12} + 0.258Z^{-13} \\
 +0.499Z^{-12} - 0.966Z^{-13} + 0.499Z^{-14} \\
 \hline
 0 - 0.707Z^{-13} + 0.499Z^{-14} \\
 +0.707Z^{-13} - 1.3650Z^{-14} + 0.707Z^{-15} \\
 \hline
 0 - 0.866Z^{-14} + 0.707Z^{-15} \\
 +0.866Z^{-14} - 1.6730Z^{-15} + 0.866Z^{-16} \\
 \hline
 0 - 0.966Z^{-15} + 0.866Z^{-16} \\
 +0.966Z^{-15} - 1.866Z^{-16} + 0.966Z^{-17} \\
 \hline
 0 - 1Z^{-16} + 0.966Z^{-17} \\
 + 1Z^{-16} - 1.9319Z^{-17} + 1Z^{-18} \\
 \hline
 0 - 0.966Z^{-17} + 1Z^{-18} \\
 + 0.966Z^{-17} - 1.866Z^{-18} + 0.966Z^{-19} \\
 \hline
 -0.866Z^{-18} + 0.966Z^{-19} \\
 +0.866Z^{-18} - 1.6730Z^{-19} + 0.866Z^{-20} \\
 \hline
 0 - 0.707Z^{-19} + 0.866Z^{-20} \\
 +0.707Z^{-19} - 1.3650Z^{-20} + 0.707Z^{-21} \\
 \hline
 0 - 0.499Z^{-20} + 0.707Z^{-21} \\
 +0.499Z^{-20} - 0.9660Z^{-21} + 0.499Z^{-22} \\
 \hline
 0 - 0.258Z^{-21} + 0.499Z^{-22} \\
 +0.258Z^{-21} - 0.499Z^{-22} + 0.258Z^{-23} \\
 \hline
 0 \quad 0 \quad +0.258Z^{-23} \\
 0 \quad 0 \quad 0 \\
 \hline
 +0.257Z^{-23}
 \end{array}$$

Por lo tanto de los valores obtenidos de la división se obtiene la secuencia requerida:

Inversor Controlado Por Modulación De Ancho De Pulso Digital

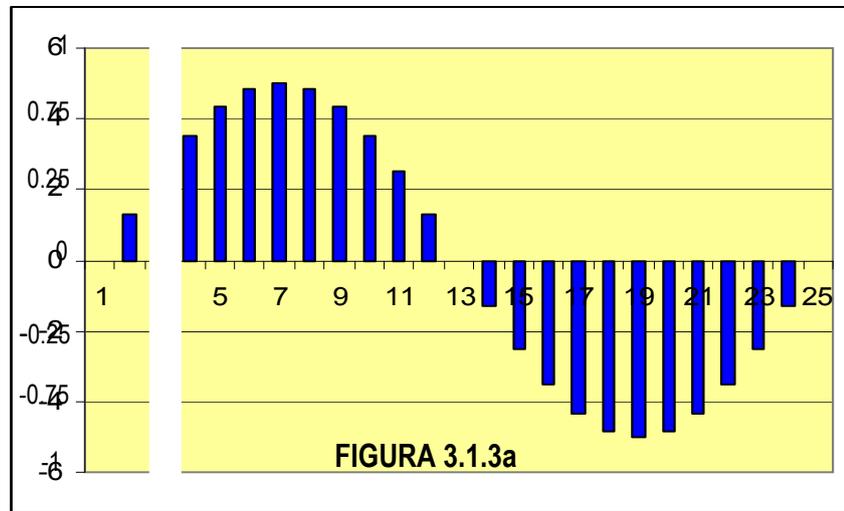
$$\begin{aligned}
 v(kT) = & 0.2587\delta(k-1) + 0.4999\delta(k-2) + 0.7071\delta(k-3) + 0.8660\delta(k-4) \\
 & + 0.9664\delta(k-5) + \delta(k-6) + 0.9664\delta(k-7) + 0.8660\delta(k-8) \\
 & + 0.7071\delta(k-9) + 0.4999\delta(k-10) + 0.2587\delta(k-11) \\
 & + 0\delta(k-12) - 0.2587\delta(k-13) - 0.4999\delta(k-14) \\
 & - 0.7071\delta(k-15) - 0.8660\delta(k-16) - 0.9664\delta(k-17) \\
 & - \delta(k-18) - 0.9664\delta(k-19) - 0.8660\delta(k-20) \\
 & - 0.7071\delta(k-21) - 0.4999\delta(k-22) - 0.2587\delta(k-23) \\
 & - 0\delta(k-24)
 \end{aligned}$$

Y los coeficientes de la serie son:

y(T)		y(T)	
0	0	13	-0.2587
1	0.2587	14	-0.4999
2	0.4999	15	-0.7071
3	0.7071	16	-0.8660
4	0.8660	17	-0.9664
5	0.9664	18	-1
6	1	19	-0.9664
7	0.9664	20	-0.8660
8	0.8660	21	-0.7071
9	0.7071	22	-0.4999
10	0.4999	23	-0.2587
11	0.2587	24	0
12	0		

TABLA 3.1.3a

Graficando los valores de la **tabla 3.1.3a** obtenemos los valores de la figura 3.1.3a



Utilizando la ecuación 1.25 de la operación de compresión, con los valores obtenidos de los coeficientes de la tabla 3.1.3a tenemos que:

$$\frac{1}{|a|} \delta(t) = \delta(at)$$

Resolviendo:

- para $y(0) = y(12T) = y(24T) = 0$

Tenemos:

$$0\delta(t) = \delta(0t)$$

- para $y(T) = y(11T) = y(13) = y(23T) = 0.2587$

Tenemos:

$$3.865\delta(t) = \delta\left(\frac{0.6944mS}{3.865}t\right) \rightarrow \delta(0.1793mS)$$

- para $y(2T) = y(10T) = y(14) = y(22T) = .4999$

Tenemos:

$$2.0004\delta(t) = \delta\left(\frac{0.6944mS}{2.0004}t\right) \rightarrow \delta(0.3471mS)$$

- para $y(3T) = y(9T) = y(15) = y(21T) = 0.7071$

Inversor Controlado Por Modulación De Ancho De Pulso Digital

Tenemos:

$$1.4142\delta(t) = \delta\left(\frac{0.6944mS}{1.4142}t\right) \rightarrow \delta(0.4910mS)$$

- *para* $y(4T) = y(8T) = y(16) = y(20T) = 0.8660$

Tenemos:

$$1.1547\delta(t) = \delta\left(\frac{0.6944mS}{1.1547}t\right) \rightarrow \delta(0.6013mS)$$

- *para* $y(5T) = y(7T) = y(17) = y(19T) = 0.9664$

Tenemos:

$$1.0347\delta(t) = \delta\left(\frac{0.6944mS}{1.0347}t\right) \rightarrow \delta(0.6710mS)$$

- *para* $y(6T) = y(18T) = 1$

Tenemos:

$$1\delta(t) = \delta\left(\frac{0.6944mS}{1}t\right) \rightarrow \delta(0.6944mS)$$

Utilizando los valores obtenidos la secuencia requerida es:

$$\begin{aligned} v(kT) = & \delta(0.1793t - T) + \delta(0.3471t - 2T) + \delta(0.4910t - 3T) \\ & + \delta(0.6013t - 4T) + \delta(0.6710t - 5T) + \delta(0.6944t - 6T) \\ & + \delta(0.6710t - 7T) + \delta(0.6013t - 8T) + \delta(0.4910t - 9T) \\ & + \delta(0.3471t - 10T) + \delta(0.1793t - 11T) + \delta(0mS - 12T) \\ & - \delta(0.1793t - 13T) - \delta(0.3471t - 14T) - \delta(0.4910t - 15T) \\ & - \delta(0.6013t - 16T) - \delta(0.6710t - 17T) \\ & - \delta(0.6944t - 18T) - \delta(0.6710t - 19T) - \delta(0.6013t - 20T) \\ & - \delta(0.4910t - 21T) - \delta(0.3471t - 22T) \\ & - \delta(0.1793t - 23T) - \delta(0t - 24T) \end{aligned}$$

De la cual podemos obtener los retardos para el programa

Retardos	mS
0	0
1	0.1793
2	0.3471
3	0.4910
4	0.6013
5	0.6710

Inversor Controlado Por Modulación De Ancho De Pulso Digital

6	0.6944
7	0.6710
8	0.6013
9	0.4910
10	0.3471
11	0.1793
12	0

TABLA 3.1.3b

Utilizando los valores de la tabla 3.1.3a se obtiene
 Utilizando los valores de la tabla 3.1:

$$V_{rms} = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{K=0}^{24} (V_{cd})^2} \dots \dots \text{Ecuación 3.8.0}$$

Resolviendo tenemos

$$V_{rms} = \sqrt{\left(\frac{1}{24} * [(0^2 + 0.2587^2 + 0.4999 + 0.7071^2 + 0.8660^2 + 0.9664^2 + 1^2 + 0.9664^2 + 0.8660^2 + 0.7071^2 + 0.4999^2 + 0.2587^2 + 0 + 0.2587^2 + 0.4999^2 + 0.7071^2 + 0.8660^2 + 0.9664^2 + 1^2 + 0.9664^2 + 0.8660^2 + 0.7071^2 + 0.4999^2 + 0.2587^2 + 0)] \dots \dots \text{Ecuación 3.8.1}\right)}$$

$$V_{rms} = \sqrt{\left(\frac{1}{24} * [0 + 0.06692 + 0.2499 + 0.4999 + 0.7499 + 0.9339 + 1 + 0.9339 + 0.7499 + 0.4999 + 0.2499 + 0.06692 + 0 + 0.6692 + 0.2499 + 0.4999 + 0.7499 + 0.9339 + 1 + 0.9339 + 0.7499 + 0.4999 + 0.2499 + 0.06692 + 0] \dots \dots \text{Ecuación 3.8.2}\right)}$$

$$V_{rms} = \sqrt{\frac{1}{24} * [(12.00208)]} \dots \dots \text{Ecuación 3.8.3}$$

$$\mathbf{V_{rms} = 0.707168 V}$$

Estos valores son los requeridos para los pulsos donde n = 24, para un ciclo de la señal.

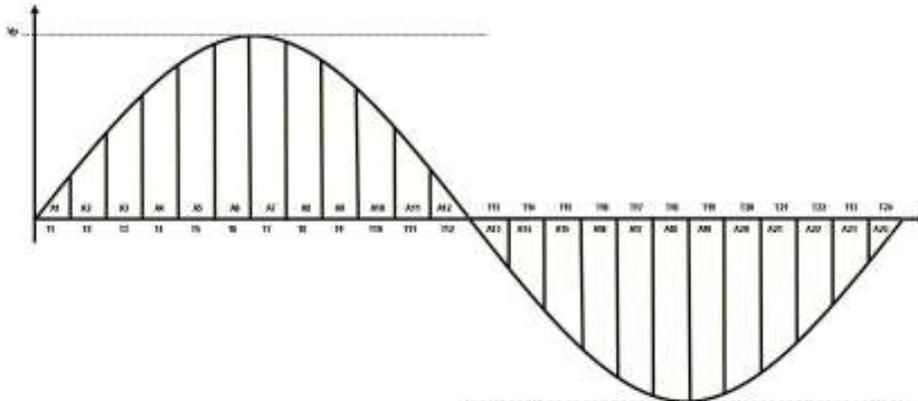


FIGURA 3.1.3 b

3.2 Programa del inversor

El funcionamiento del programa se basa en que el procesador actúe sobre los interruptores en los instantes adecuados. Para ello se establece una base de tiempos de $1\mu\text{s}$ que se obtiene del reloj de instrucciones del procesador que es el que se utiliza para hacer evolucionar un temporizador de 16 bits que genera una interrupción al finalizar la cuenta.

En la aplicación se decidió disponer de 24 pulsos y por lo tanto, $n=24$, por cada periodo de la señal de salida para la frecuencia de 60 Hz. Con ello el intervalo de tiempo de cada uno de los segmentos es de 16.666 ms.

Los intervalos de tiempo se establecen por medio del microcontrolador y en función de la frecuencia. Dado que el microcontrolador no admite valores fraccionarios, es necesario ajustar el valor teórico calculado al valor real más próximo permitido. Este ajuste conlleva un mínimo error que se reflejara en la calidad de la forma de la onda de salida.

Sabiendo lo anterior obtenemos los siguientes valores que serán los utilizados en el programa.

Redondeando los valores (pulsos) para el programa se obtienen los valores de las tablas 3.2a y 3.2b

Inversor Controlado Por Modulación De Ancho De Pulso Digital

	Tiempo obtenido:	Tiempo redondeado:
t_0, t_{12}, t_{24}	$t = 0$	$t = 0$
$t_1, t_{11}, t_{13}, t_{23}$	$t = 0.1793 \text{ mS}$	$t = 0.180 \text{ mS}$
$t_2, t_{10}, t_{14}, t_{22}$	$t = 0.3471 \text{ mS}$	$t = 0.350 \text{ mS}$
t_3, t_9, t_{15}, t_{21}	$t = 0.4910 \text{ mS}$	$t = 0.500 \text{ mS}$
t_4, t_8, t_{16}, t_{20}	$t = 0.6013 \text{ mS}$	$t = 0.600 \text{ mS}$
t_5, t_7, t_{17}, t_{19}	$t = 0.6710 \text{ mS}$	$t = 0.670 \text{ mS}$
t_6, t_{18}	$t = 0.6944 \text{ mS}$	$t = 0.694 \text{ mS}$

Tabla 3.2 a

	Tiempo activo:	Tiempo inactivo:
$t_1, t_{12}, t_{13}, t_{24}$	$t = 0.180 \text{ mS}$	$t = 0.514 \text{ mS}$
$t_2, t_{11}, t_{14}, t_{23}$	$t = 0.350 \text{ mS}$	$t = 0.344 \text{ mS}$
$t_3, t_{10}, t_{15}, t_{22}$	$t = 0.500 \text{ mS}$	$t = 0.194 \text{ mS}$
t_4, t_9, t_{16}, t_{21}	$t = 0.600 \text{ mS}$	$t = 0.094 \text{ mS}$
t_5, t_8, t_{17}, t_{20}	$t = 0.670 \text{ mS}$	$t = 0.024 \text{ mS}$
t_6, t_7, t_{18}, t_{19}	$t = 0.694 \text{ mS}$	$t = 0 \text{ mS}$

Tabla 3.2 b

Representando los valores en figura 3.2a de las tablas 3.2a y 3.2b se obtiene.

Inversor Controlado Por Modulación De Ancho De Pulso Digital

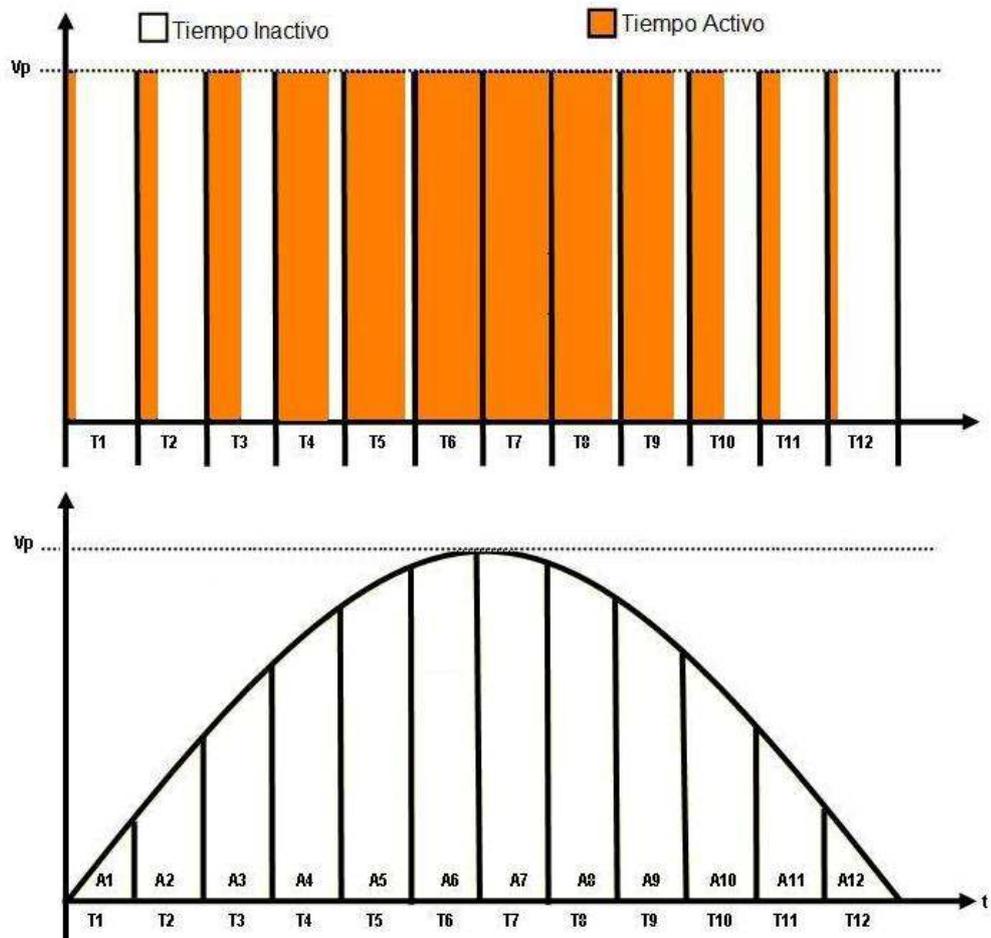


FIGURA 3.2 a

Inversor Controlado Por Modulación De Ancho De Pulso Digital

3.2.1 Código del programa.

```

;                               ZONA                               DE                               DATOS
*****
****

```

```

__CONFIG _CP_OFF & _WDT_OFF & _PWRTE_ON & _XT_OSC
LIST      P=16F84
INCLUDE <P16F84.INC>
INCLUDE <puertos.INC>

```

```

CBLOCK 0x0C                               ; En esta posición empieza la RAM de
usuario.
ENDC

```

```

;                               ZONA                               DE                               CÓDIGOS
*****
*

```

```

ORG      0

Inicio
Banco 1.
configurada como salida.
Banco 0.
Principal
LED
este tiempo.
durante la suma de los siguientes retardos.
durante la suma de los siguientes retardos.

```

	bsf	STATUS,RP0	; Acceso al
	bcf	PORTB,RB0	; Línea del LED
	bcf	PORTB,RB1	
	bcf	PORTB,RB2	
	bcf	STATUS,RP0	; Acceso al
	bsf	PORTB,RB2	
	bsf	PORTB,RB0	; Enciende el
	call	Retardo_1_on	; durante la suma de
	bcf	PORTB,RB0	; Lo apaga
	call	Retardo_1_off	;
	bsf	PORTB,RB0	
	call	Retardo_2_on	

Inversor Controlado Por Modulación De Ancho De Pulso Digital

```
    bcf          PORTB,RB0
    call        Retardo_2_off

    bsf          PORTB,RB0
    call        Retardo_3_on

    bcf          PORTB,RB0
    call        Retardo_3_off

    bsf          PORTB,RB0
    call        Retardo_4_on

    bcf          PORTB,RB0
    call        Retardo_4_off

    bsf          PORTB,RB0
    call        Retardo_5_on

    bcf          PORTB,RB0
    call        Retardo_5_off

    bsf PORTB,RB0          ;periodo 6 = periodo 7
    call        Retardo_6_7          ;periodos 6 y 7 están en
alto en todo su periodo          ;
    call        Retardo_6_7          ;
    call        Retardo_5_on          ;periodo 8 = periodo 5
;
nivel alto de periodo 8 se suma a periodo 6 y 7
    bcf          PORTB,RB0
    call        Retardo_5_off

    bsf          PORTB,RB0
    call        Retardo_4_on          ;periodo 9 = periodo 4

    bcf          PORTB,RB0
    call        Retardo_4_off

    bsf          PORTB,RB0
    call        Retardo_3_on          ;periodo 10 = periodo 3

    bcf          PORTB,RB0
    call        Retardo_3_off

    bsf          PORTB,RB0
```

Inversor Controlado Por Modulación De Ancho De Pulso Digital

```
call Retardo_2_on ;periodo 11 = periodo 2

bcf PORTB,RB0
call Retardo_2_off

bsf PORTB,RB0
call Retardo_1_on ;periodo 12 = periodo 1

bcf PORTB,RB0
call Retardo_1_off

LED bsf PORTB,RB1 ; Enciende el
call Retardo_1_on ; durante la suma de este tiempo.

durante la suma de los siguientes bcf PORTB,RB1 ; Lo apaga
call Retardo_1_off ; retardos.

bsf PORTB,RB1
call Retardo_2_on

bcf PORTB,RB1
call Retardo_2_off

bsf PORTB,RB1
call Retardo_3_on

bcf PORTB,RB1
call Retardo_3_off

bsf PORTB,RB1
call Retardo_4_on

bcf PORTB,RB1
call Retardo_4_off

bsf PORTB,RB1
call Retardo_5_on

bcf PORTB,RB1
call Retardo_5_off
```

Inversor Controlado Por Modulación De Ancho De Pulso Digital

```
bsf PORTB, RB1 ;periodo 6 = periodo 7
call Retardo_6_7 ;periodos 6 y 7
están en alto en todo su periodo
call Retardo_6_7 ;
call Retardo_5_on ;periodo 8 = periodo 5
;nivel alto de periodo 8 se suma a periodo 6 y 7
bcf PORTB, RB1
call Retardo_5_off
bsf PORTB, RB1
call Retardo_4_on ;periodo 9 = periodo 4
bcf PORTB, RB1
call Retardo_4_off
bsf PORTB, RB1
call Retardo_3_on ;periodo 10 = periodo 3
bcf PORTB, RB1
call Retardo_3_off
bsf PORTB, RB1
call Retardo_2_on ;periodo 11 = periodo 2
bcf PORTB, RB1
call Retardo_2_off
bsf PORTB, RB1
call Retardo_1_on ;periodo 12 = periodo 1
bcf PORTB, RB1
call Retardo_1_off
BCF PORTB, RB2
goto Principal
```

```
; Subrutinas
*****
*****
CBLOCK
```

Inversor Controlado Por Modulación De Ancho De Pulso Digital

```

R_ContA                                     ; Contadores
para los retardos.
R_ContB

    ENDC

Retardo_1_on                                ; La llamada "call"
aporta 2 ciclos máquina.
    movlw d'43'                               ; Aporta 1 ciclo
máquina. Este es el valor de "M".
    goto Retardos_us                          ; Aporta 2 ciclos
máquina.
Retardo_1_off                                ; La llamada "call"
aporta 2 ciclos máquina.
    movlw d'127'                              ; Aporta 1 ciclo
máquina. Este es el valor de "M".
    goto Retardos_us                          ; Aporta 2 ciclos
máquina.

Retardo_2_on                                ; El próximo bloque
"Retardos_us" tarda:
    movlw d'86'                               ;  $1 + M + M + KxM + (K-$ 
 $1)xM + Mx2 + (K-1)Mx2 + (M-1) + 2 + (M-1)x2 + 2 =$ 
    goto Retardos_us                          ;  $= (2 + 4M + 4KM)$ 
ciclos máquina. Para K=249 y M=1
                                                    ;
supone 1002 ciclos máquina
Retardo_2_off                                ; que a 8 MHz son 1002 ns
= 1 us.
    movlw d'84'                               ;
    goto Retardos_us

Retardo_3_on
    movlw d'123'
    goto Retardos_us

Retardo_3_off
    movlw d'47'
    goto Retardos_us

Retardo_4_on
    movlw d'148'
    goto Retardos_us

Retardo_4_off
    movlw d'22'
    goto Retardos_us

Retardo_5_on
    movlw d'166'

```

Inversor Controlado Por Modulación De Ancho De Pulso Digital

```

                                goto    Retardos_us

Retardo_5_off
                                movlw  d'4'
                                goto    Retardos_us

Retardo_6_7
                                movlw  d'172'
                                goto    Retardos_us

Retardos_us
                                movwf  R_ContB                ; Aporta 1 ciclo máquina.
R1us_BucleExterno
                                movlw  d'1'                  ; Aporta Mx1 ciclos máquina. Este es el
valor de "K".
                                movwf  R_ContA                ; Aporta Mx1 ciclos máquina.
R1us_BucleInterno
                                nop                          ; Aporta KxMx1 ciclos
máquina.
                                decfsz R_ContA,F              ; (K-1)xMx1 cm (cuando no salta) + Mx2
cm (al saltar).
                                goto    R1us_BucleInterno    ; Aporta (K-1)xMx2 ciclos
máquina.
                                decfsz R_ContB,F              ; (M-1)x1 cm (cuando no salta) + 2 cm (al
saltar).
                                goto    R1us_BucleExterno    ; Aporta (M-1)x2 ciclos máquina.
                                return                          ; El salto de retorno aporta 2
ciclos máquina.

; En total estas subrutinas tardan:
; - Retardo_200ms:      2 + 1 + 2 + (2 + 4M + 4KM) = 200007 cm = 200 ms. (M=200 y
K=249).
; - Retardo_100ms:     2 + 1 + 2 + (2 + 4M + 4KM) = 100007 cm = 100 ms. (M=100 y
K=249).
; - Retardo_1ms : 2 + 1 + (2 + 4M + 4KM) = 1005 cm = 1 ms. (M= 1 y K=249).

                                END

;No valor alto valor bajo

;1      43      127
;2      86      84
;3      123     47
;4      148     22
;5      166     4
;6      172     0 (X2)

```

Inversor Controlado Por Modulación De Ancho De Pulso Digital

A la salida del microcontrolador se obtuvo la señal que se muestra a continuación en la figura 3.2.1a, en ella se puede apreciar los 12 pulsos que se deseaban obtener, para la señal del inversor PWM. Dando así una frecuencia de 60 Hz.

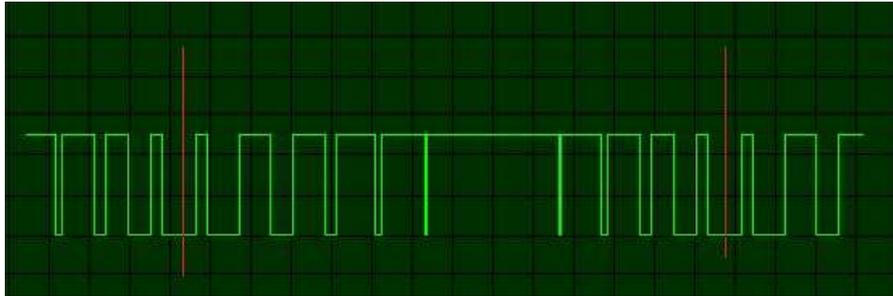


FIGURA 3.2.1a

Y el resultado que se desea obtener es una muestra de 12 pulsos por cada medio ciclo de la señal, para emular una señal senoidal muy parecida a la suministrada por la compañía; como a continuación se ve en la figura 3.2.1b

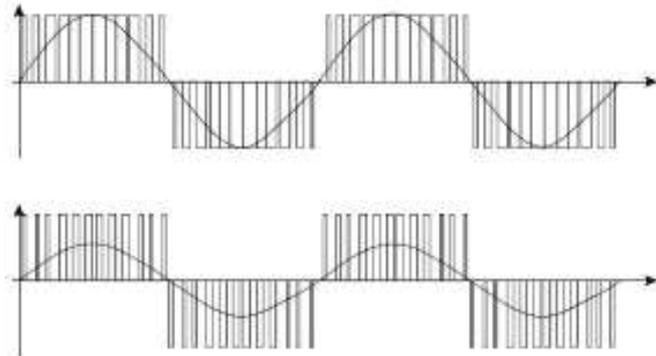
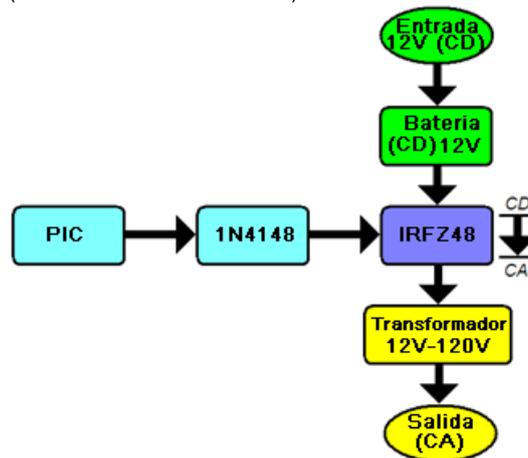


FIGURA 3.2.1b

DISEÑO DEL INVERSOR

4.1 Diagrama de bloques de las partes o etapas del inversor

Control (pic16F84)
Aislamiento de señal (diodos de protección 1N4148)
Conmutación (IRFZ20)
Batería (12Volts CD)
Potencia (Transformador 12-120 V CA)



Control (pic16F84)

Bloque que se encarga de generar las señales correspondientes para poder controlar el sentido de la corriente, mediante un swicheo de tiempos controlados, con lo cual se simulara una corriente alternando de sentido, similar a la de la corriente casera.

El componente principal de este bloque es el microcontrolador 16F84 marca "Microchip", el cual contiene el programa desarrollado específicamente para nuestras necesidades, este microprocesador tiene como base de tiempo a un cristal oscilador de 4 MHz, y está alimentado por un regulador de voltaje 7805 con lo cual aseguramos tener un voltaje de 5 volts, y con esto garantizar el correcto funcionamiento del microprocesador

Inversor Controlado Por Modulación De Ancho De Pulso Digital

Aislamiento de señal (Diodos de protección 1N4148)

Este bloque se encarga de aislar eléctricamente la señal generada por el microprocesador, la forma de lograr esto es con el uso del diodo de respuesta rápida 1N4148, con lo cual se protegerá al microprocesador de diversos contratiempos como son: altos voltajes, regreso de voltajes, corto circuitos, etc.

Conmutación (IRFZ48)

Dentro de este bloque se encuentran los transistores Mosfet, los cuales debido a sus características eléctricas poseen una alta respuesta a los impulsos (Figura 4.1a) generados por el microprocesador tanto de activación, así como de corte, con lo cual se podrá tener un swicheo lo suficientemente veloz como para simular la alternancia del sentido de una corriente. Es en este bloque donde se realiza la transformación de 12 v de Corriente Directa a una Corriente Alterna de amplitud de 12 volts aproximadamente.

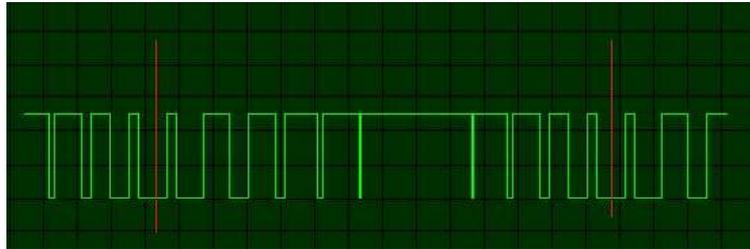


Figura 4.1a

Batería (12Volts CD)

Bloque que solo funciona como elemento que proveerá de una corriente constante al bloque de potencia, este solo se compone de una batería o acumulador a 12V.

Potencia (Transformador 12-110 V CA)

Este bloque se compone principalmente de un transformador el cual se ocupara de elevar la amplitud del voltaje, el cual fue producido mediante la conmutación, de 12V (CA) a 110V (CA)

Entrada 12 V CD

Este bloque tiene como elemento a cualquier tipo de alimentación con una amplitud de 12 Volts de corriente directa, ya sea un transformador reductor de voltaje 110-12 Volts con salida rectificada por un puente de diodos rectificadores, una fuente conmutada, un generador eolico,

Inversor Controlado Por Modulación De Ancho De Pulso Digital

hidráulico, solar, mecánico, térmico, etc.) De voltaje de salida en corriente directa.

Salida 120 V CA

Esta salida es la última etapa de este circuito pues aquí donde se obtiene una señal de 120 Volts en corriente alterna.

Como puede verse en el diagrama, este se compone de 2 circuitos independientes, esto es posible ya que se puede disponer de la fuente de alimentación y ser substituida por otra fuente de alimentación, en la que como característica principal la salida de esta se un voltaje de amplitud de 12 Volts.

El circuito principal, estara alimentado por los 12 volts, pero el microprosesador tendra un voltaje regulado por un LM7805, el microcontrolador séra un PIC16F84, el cual tendra como base de reloj a un cristal de 4 MHz, el algoritmo programado dentro del microprosesador esta basado en dos salidas del puerto A del PIC unicamente, estas estan conectadas a dos fotoacopladores TLP651 con lo cual tendremos un aislamiento eléctrico completo de la carga de lña bateria u acumulador hacia los pines del 16F84, estos fotoacopladores a su vez estan conectados a la Gate de un transistor Mosfet IRFZ20.

4.2 Diagrama del inversor

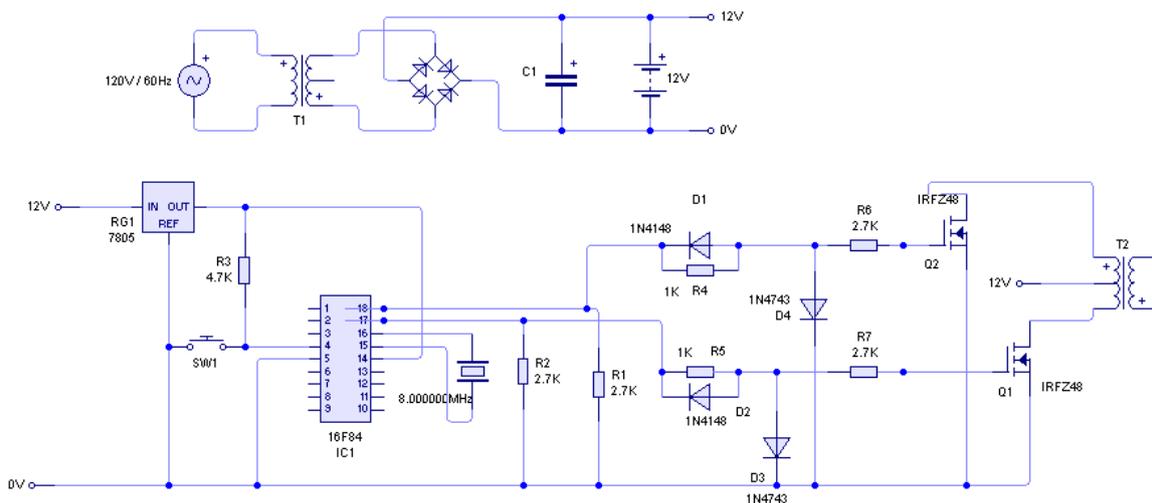


Figura 4.1b Diagrama del inversor

CONSTRUCCIÓN Y COMPROBACIÓN DEL DISEÑO

5.1 Construcción del inversor

En los inversores ideales, las formas de onda del voltaje de salida deberían ser senoidales. Sin embargo, en los inversores reales no lo son y contienen cierta cantidad de armónicas. Dada la disponibilidad de los dispositivos semiconductores de potencia de alta velocidad, es posible minimizar o reducir significativamente el contenido armónico del voltaje de salida mediante diferentes técnicas de conmutación.

Se analizo un inversor sencillo de onda cuadrada(figura 5), que aparentemente cubriría las expectativas de generación de una señal senoidal, pero al ser analizada se hace notar que la señal solo cumple con ciertas condiciones como la frecuencia y amplitud, pero en su forma la señal es cuadrada (figura 5.1), lo que indica que esta señal está compuesta de una componente principal senoidal, pero con componentes armónicas para crear una forma cuadrada; es decir este tipo de inversor no es apto para un uso práctico(figura 5.1.1 zoom de la figura 5.1).



Figura 5.



Figura 5.1

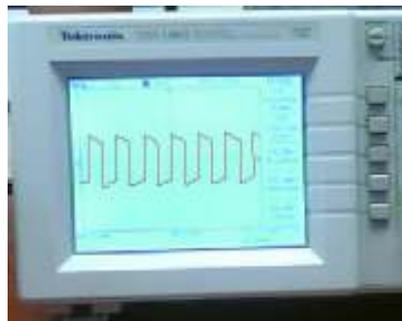


Figura 5.1.1

Inversor Controlado Por Modulación De Ancho De Pulso Digital

Por lo tanto se opto por el diseño de un inversor monofásico controlado por modulación de ancho de pulso, que es capaz de generar una señal idéntica a la suministrada, tanto en su magnitud como en su frecuencia, por ello se han tomado como parámetro los valores característicos de la señal dada por la comisión federal de electricidad.

De esta forma el Inversor Controlado Por Modulación De Ancho De Pulso Digital podrá ser usado como un sustituto directo a la energía suministrada, además de sus aplicaciones consecuentes dentro de la industria

Se diseño la construcción del Inversor Controlado Por Modulación De Ancho De Pulso Digital en una configuración, tal que, su control recayera sobre un Microcontrolador PIC, con esto se aseguro que la señal de salida siempre sea homogénea a una frecuencia de 60 Hz, y que crea una forma de onda senoidal pura con lo cual se evita la formación de componentes armónicas, pues la señal se forma únicamente de la componente principal.

Dado que el Microcontrolador no admite valores fraccionarios, es necesario ajustar el valor teórico calculado al valor real más próximo permitido. Este ajuste conlleva un mínimo error que se reflejara en la calidad de la forma de la onda de salida.

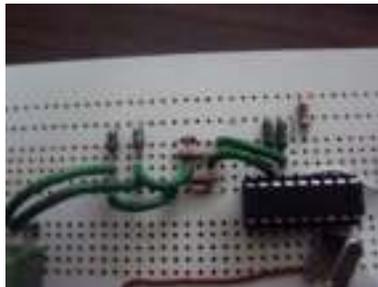


Figura 5.1 a PIC 16F84

El funcionamiento del programa se basa en que el procesador actúe sobre los interruptores en los instantes adecuados. Para ello se establece una base de tiempos de $1\mu\text{s}$ que se obtiene del reloj de instrucciones del procesador que es el que se utiliza para hacer evolucionar un temporizador de 16 bits que genera una interrupción al finalizar la cuenta.

Una vez comparado el valor ideal con el valor real, la medida de la frecuencia de la señal modulada de salida para el valor ideal de 60 HZ fue entonces de 60.04Hz lo que significa un margen de error despreciable. Además se hicieron medidas del espectro de frecuencias generado en la salida como consecuencia de la modulación. Este nos muestra principalmente un tren de pulsos el cual varia su amplitud dependiendo del momento en que se encuentra, es decir, primeramente muestra un área mínima la cual se irá incrementando hasta llegar a un punto máximo, para después decrementarse en lo que será un medio ciclo de la frecuencia total.

Algunas de estas medidas se muestran a continuación

Inversor Controlado Por Modulación De Ancho De Pulso Digital

La imágenes mostrada a continuación son las obtenidas por el oscilador donde $n = 12$.

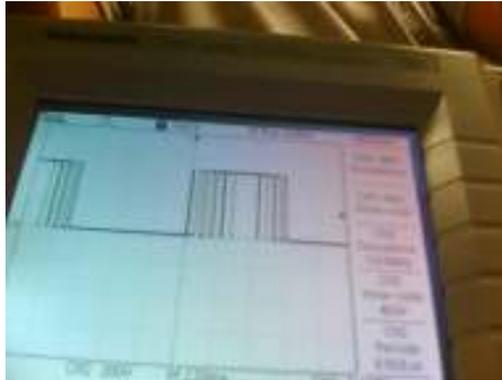


Figura 5.1 b

Como se puede observar, la grafica de pulsos obtenidos, no varía mucho con respecto a la grafica contemplada en el plano teórico, únicamente se ajustaron algunos valores, esto para obtener una mejor definición en nuestro tren de pulsos.

Como observación, se indica que, para no tener como resultante valores de activación de un cuadrante positivo y negativo traslapados en un mismo tiempo, como lo sería al final y al comienzo de medios ciclos, se inicia activando un primer ciclo con un nivel alto u activo, esto para tener como resultado que el final de este primer ciclo termine con un nivel bajo, el cual no interferirá con el inicio del segundo medio ciclo el cual nuevamente comenzara con un nivel alto, evitando cualquier distorsión en el tiempo continuo de la señal.

En lo que respecta a la etapa de potencia esta se basa en la premisa de elevación de voltajes, conseguida esta a partir de un transformador con una relación aproximada de 1:10 con ayuda de los Mosfet produciendo un switcheo

En la parte de conmutación los MOSFET si cumplieron, con lo planeado al generar nuestra señal lo mas similar posible a la suministrada por la compañía de luz, con los valores muy similares a estos, guardando un margen de error muy aceptable a lo planeado, sin perjudicar en nada la salida requerida del inversor.

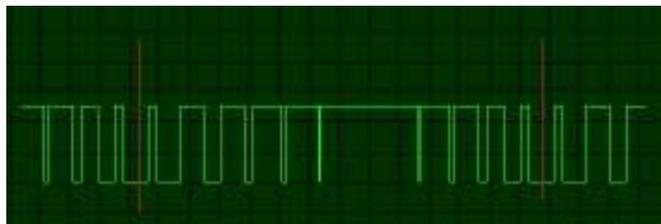


Figura 5.1 c

Inversor Controlado Por Modulación De Ancho De Pulso Digital

Para nuestra señal de salida del inverso digital controlado por modulación de ancho de pulso, se obtuvo una señal senoidal de 120V @ 60.04 HZ, siendo esta una señal similar a la generada por la compañía de luz. Se mostro una señal libre de armónicas, sin afectar el funcionamiento o dañar el equipo que alimente este al sustituir la alimentación proporcionada por la Comisión Federal de Electricidad (figura 5.1.e).

Este inversor tiene como ventaja que siempre permanece alimentado y sustituyendo la energía suministrada, esto ocasiona una mejor tiempo de vida a la batería o fuente de energía.



Figura 5.1 d



Figura 5.1 e

CAPITULO VI

CONCLUSIONES

Se analizo un inversor de voltaje, que aparentemente cumplía con las expectativas de generación de una señal senoidal o por lo menos semi-senoidal, pero este al ser analizado bajo un osciloscopio se hace notar de forma clara que la señal solo cumple con ciertas condiciones como la frecuencia y amplitud, pero en su forma básica la señal es casi netamente cuadrada, lo que indica que esta señal está compuesta de una componente principal con forma senoidal, pero, conteniendo componentes armónicas para generar una forma cuadrada de onda.

Al ser analizadas las señales de los inversores propuestos se encontró una gran diferencia en su representación grafica, pues la señal del primer inversor muestra una gran cantidad de componentes armónicas, causa principal de que su eficiencia sea más baja, con las consecuencias de utilizar una señal cuadrada como alimentación en cualquier aparato, pudiendo dañar al equipo alimentado en el peor de los casos.

A pesar de que existen métodos más sencillos para obtener una señal de forma semi-senoidal con un relativo control en la frecuencia y amplitud de la señal de salida, estos métodos tienen la desventaja de que su señal de salida tiene una cantidad considerable de armónicas, que por su naturaleza eléctrica son dañinas para los aparatos eléctricos-electrónicos, por lo cual el uso de estos inversores se restringe para aparatos de baja complejidad electrónica, entre otras, una de sus características es una baja eficiencia, principal motivo por el cual se tomo como proyecto el desarrollo de un inversor capaz de minimizar las pérdidas, junto con una reducción de casi cero a la producción de armónicas por parte del inversor.

Se opta por la construcción de un inversor en que su control cae directamente sobre un Microcontrolador que utiliza como control el uso de PWM, con esto se asegura que la señal de salida siempre sea bajo las características deseadas, que en este caso son de un frecuencia de 60 Hz y de una amplitud con la suficiente definición para ser amplificada y que llegue a los 120V, y que al ser analizada se crea una forma de onda senoidal limpia con lo cual se evita la formación de componentes armónicas, pues la señal se forma únicamente de la componente principal

Dado que el Microcontrolador no admite valores fraccionarios, es necesario ajustar el valor teórico calculado al valor real más próximo permitido. Este ajuste conlleva una diferencia mínima que se reflejara en la calidad de la forma de la onda de salida. Sin embargo esto será despreciable comparándolo incluso con la señal registrada por el mismo suministro eléctrico de CFE, pues, la señal registrada por el Inversor Controlado Por Modulación De Ancho De Pulso Digital, tiene una señal más nítida.

La elección de un control por modulación de ancho de pulso es la mejor opción, pues esta representa una solución simple y económica, y con una señal de salida sin componentes armónicas por lo cual es la solución idónea para una generación de un voltaje de CA de frecuencia y amplitud deseada a partir de un voltaje en CD.

GLOSARIO

Aisladores eléctricos. El aislamiento eléctrico se produce cuando se cubre un elemento eléctrico con un material que no es conductor de la electricidad, es decir, un material que resiste el paso de la corriente a través del elemento que recubre y lo mantiene en su trayectoria a lo largo del conductor.

Amplitud. En física la amplitud de un movimiento oscilatorio, ondulatorio o señal electromagnética es una medida de la variación máxima del desplazamiento u otra magnitud física que varía periódica o cuasiperiódicamente en el tiempo.

Armónicas. Las armónicas son corrientes y/o voltajes presentes en un sistema eléctrico, con una frecuencia múltiplo de la frecuencia fundamental. Así, en sistemas con frecuencia de 60 Hz y cargas monofásicas, las armónicas características son la tercera (180 Hz), quinta (300 Hz), y séptima (420 Hz).

Inversor: Un inversor convierte la corriente continua de una batería en corriente alterna, adecuada para alimentar a los equipos conectados a la salida. Su capacidad de potencia depende del consumo total de los equipos a alimentar.

Capacitancia. Es la propiedad que tienen los cuerpos para mantener una carga eléctrica. La capacitancia también es una medida de la cantidad de energía eléctrica almacenada para un potencial eléctrico dado. El dispositivo más común que almacena energía de esta forma es el capacitor. La relación entre la diferencia de potencial (o tensión) existente entre las placas del capacitor y la carga eléctrica almacenada en éste

Carga no lineal. Carga desbalanceada que varía su valor respecto a factores propios de la red como son la frecuencia, distancia, temperatura, etc.

Circuito Integrado. Un **circuito integrado (CI)**, también conocido como **chip** o **microchip**, es una pastilla pequeña de material semiconductor, de algunos milímetros cuadrados de área, sobre la que se fabrican circuitos electrónicos generalmente mediante fotolitografía y que está protegida dentro de un encapsulado de plástico o cerámica. El encapsulado posee conductores metálicos apropiados para hacer conexión entre la pastilla y un circuito impreso.

Conductores eléctricos. Se llaman conductores eléctricos a los materiales que puestos en contacto con un cuerpo cargado de electricidad transmite ésta a todos los puntos de su superficie.

Conmutación. Proceso de inversión de la corriente en las espiras del inducido de una máquina eléctrica.

Inversor Controlado Por Modulación De Ancho De Pulso Digital

Control. La palabra control proviene del término francés *contrôle* y significa comprobación, inspección, fiscalización o intervención. También puede hacer referencia al dominio, mando y preponderancia, o a la regulación sobre un sistema.

Corriente. La corriente o intensidad eléctrica es el flujo de carga por unidad de tiempo que recorre un material. Se debe a un movimiento de los electrones en el interior del material.

CA. Se denomina corriente alterna a la corriente eléctrica en la que la magnitud y dirección varían cíclicamente. La forma de onda de la corriente alterna más comúnmente utilizada es la de una onda senoidal, puesto que se consigue una transmisión más eficiente de la energía. Sin embargo, en ciertas aplicaciones se utilizan otras formas de onda periódicas, tales como la triangular o la cuadrada.

CD. La corriente directa (CD) o corriente continua (CC) es aquella cuyas cargas eléctricas o electrones fluyen siempre en el mismo sentido en un circuito eléctrico cerrado, moviéndose del polo negativo hacia el polo positivo de una fuente de fuerza electromotriz (FEM), tal como ocurre en las baterías, las dinamos o en cualquier otra fuente generadora de ese tipo de corriente eléctrica.

Diodo. Un diodo es un dispositivo de dos terminales que permite el paso de la corriente en una sola dirección. Este término generalmente se usa para referirse al diodo semiconductor, el más común en la actualidad. Este es una pieza de cristal semiconductor conectada a dos terminales eléctricas. El diodo de alto vacío (actualmente ya no se usa excepto para tecnologías de alta potencia) es un tubo de vacío con dos electrodos: una lámina como ánodo y un cátodo.

Electrónica de potencia Se denomina electrónica de potencia a la rama de la electrónica que refiere a la aplicación de dispositivos electrónicos, al control y transformación de potencia eléctrica.

Energía. El término energía (del griego *energeia*, actividad, operación; *energos* = fuerza de acción o fuerza trabajando) tiene diversas acepciones y definiciones, relacionadas con la idea de una capacidad para obrar, transformar o poner en movimiento. En física, «energía» se define como la capacidad para realizar un trabajo.

Inversor Controlado Por Modulación De Ancho De Pulso Digital

Factor de Potencia. Denominamos factor de potencia al cociente entre la potencia activa y la potencia aparente, que es coincidente con el coseno del ángulo entre la tensión y la corriente cuando la forma de onda es sinusoidal pura, etc. O sea que el factor de potencia debe tratarse que coincida con el coseno ϕ pero no es lo mismo.

Es aconsejable que en una instalación eléctrica el factor de potencia sea alto y algunas empresas de servicio electro-energético exigen valores de 0,8 y más. O es simplemente el nombre dado a la relación de la potencia activa usada en un circuito, expresada en vatios o kilovatios (KW), a la potencia aparente que se obtiene de las líneas de alimentación, expresada en voltio-amperios o kilovoltio-amperios (KVA).

Frecuencia. Es una magnitud que mide el número de repeticiones por unidad de tiempo de cualquier fenómeno o suceso periódico. La frecuencia se mide en hercios (Hz), en honor a Heinrich Rudolf Hertz. Un hercio es aquel suceso o fenómeno repetido una vez por segundo. Así, dos hercios son dos sucesos (períodos) por segundo, etc.

Función. Una función es, en una primera aproximación, una relación entre dos magnitudes, de tal manera que a cada valor de la primera le corresponde un único valor de la segunda. La generalidad de su definición hace que sea aplicable a numerosas situaciones y cubre en su amplitud las relaciones de dependencia que existen, tanto en la matemática como en las demás ciencias.

Impedancia. La impedancia es la propiedad que tiene un componente para limitar el paso de corriente a través de un circuito. Normalmente nos referimos a ella como impedancia compleja, y consta de resistencia (afectada por la componente continua de la señal) y reactancia (afectada por la componente alterna). Se mide en ohmios. La impedancia es una magnitud que establece la relación entre la tensión y la intensidad de corriente. Tiene especial importancia si la corriente varía en el tiempo, en cuyo caso, ésta, la tensión y la propia impedancia se describen con números complejos o funciones del análisis armónico. Su módulo (a veces impropriamente llamado impedancia) establece la relación entre los valores máximos o los valores eficaces de la tensión y de la corriente. La parte real de la impedancia es la resistencia y su parte imaginaria es la reactancia.

PWM. (Pulse Wave Modulation) Modulación de ancho de pulso.

Inversor Controlado Por Modulación De Ancho De Pulso Digital

Microprocesador. El microprocesador, es el cerebro de la computadora. Es un Circuito Integrado (CI), un tipo de componente electrónico en cuyo interior existen millones de elementos llamados transistores, cuya combinación permite realizar el trabajo que tenga encomendado el CI. Dentro de un microprocesador existe una zona llamada núcleo, que es donde se llevan a cabo todas las acciones que representen un cálculo matemático o lógico.

Microcontrolador. Es un circuito integrado que incluye en su interior las tres unidades funcionales de una computadora: CPU, Memoria y Unidades de E/S. Un microprocesador se emplea para controlar el funcionamiento de una tarea determinada y debido a su reducido tamaño, suele ir incorporando en el propio dispositivo al que gobierna por eso se le denomina “controlador incrustado”.

Modulación. Se denomina modulación al proceso de colocar la información contenida en una señal, generalmente de baja frecuencia, sobre una señal de alta frecuencia. Debido a este proceso la señal de alta frecuencia denominada portadora, sufrirá la modificación de alguna de sus parámetros, siendo dicha modificación proporcional a la amplitud de la señal de baja frecuencia denominada moduladora. A la señal resultante de este proceso se la denomina señal modulada y la misma es la señal que se transmite.

Oscilador. En electrónica un oscilador es un circuito que es capaz de convertir la corriente continua en una corriente que varía de forma periódica en el tiempo (corriente periódica); estas oscilaciones pueden ser senoidales, cuadradas, triangulares, etc., dependiendo de la forma que tenga la onda producida. Un oscilador de onda cuadrada suele denominarse multivibrador y por lo tanto, se les llama osciladores sólo a los que funcionan en base al principio de oscilación natural que constituyen una bobina L (inductancia) y un condensador C (Capacitancia), mientras que a los demás se le asignan nombres especiales.

Pic. Los circuitos integrados programables PIC son componentes de memoria re-escritable no volátil, dependiendo del modelo a usar variaran sus características.

Potencia. La potencia eléctrica es la relación de paso de energía por unidad de tiempo; es decir, la cantidad de energía entregada o absorbida por un elemento en un tiempo determinado ($p = dW / dt$). La unidad en el Sistema Internacional de Unidades es el vatio o watt, que es lo mismo.

Rectificador. En electrónica, un rectificador es el elemento o circuito que permite convertir una señal eléctrica alterna en una continua. Esto se realiza utilizando diodos rectificadores,

Inversor Controlado Por Modulación De Ancho De Pulso Digital

ya sean semiconductores de estado sólido, válvulas al vacío o válvulas gaseosas como las de vapor de mercurio.

Resistencia. Resistencia eléctrica es toda oposición que encuentra la corriente a su paso por un circuito eléctrico cerrado, atenuando o frenando el libre flujo de circulación de las cargas eléctricas o electrones. Cualquier dispositivo o consumidor conectado a un circuito eléctrico representa en sí una carga, resistencia u obstáculo para la circulación de la corriente eléctrica.

Radianes. El radián es la unidad de ángulo plano en el Sistema Internacional de Unidades. Representa el ángulo central en una circunferencia que subtiende un arco cuya longitud es igual a la del radio. Su símbolo es rad. Un radián son $180/\pi$ grados, aproximadamente 57.296°

Semiconductores. Un semiconductor es una sustancia que se comporta como conductor o como aislante dependiendo de la energía externa en el que se encuentre.

Señal. Una señal es un símbolo, un gesto u otro tipo que informa o avisa de algo. La señal sustituye por lo tanto a la palabra escrita o al lenguaje. Ellas obedecen a convenciones, por lo que son fácilmente interpretadas. Una señal puede ser también la variación de una corriente eléctrica u otra magnitud física que se utiliza para transmitir información

Sistema. Es una combinación de los componentes que actúan juntos y realizan un objetivo determinado, este no es necesariamente físico, el concepto de sistema se aplica a fenómenos abstractos y dinámicos, tales como los que se encuentran en la economía, por lo tanto la palabra de sistema debe interpretarse como una implicación de sistemas físicos, biológicos, económicos y similares.

Inversor Controlado Por Modulación De Ancho De Pulso Digital

Tiristor. Componente electrónico constituido por elementos semiconductores que utiliza realimentación interna para producir una conmutación dependiendo de un segundo voltaje aplicado a su entrada o "gate".

Transformada de LAPLACE. La Transformada de Laplace es una técnica Matemática que forma parte de ciertas *transformadas integrales* como la transformada de Fourier, la transformada de Hilbert, y la transformada de Mellin entre otras. Estas transformadas están definidas por medio de una integral impropia y cambian una función en una variable de entrada en otra función en otra variable. La transformada de Laplace puede ser usada para resolver Ecuaciones Diferenciales Lineales y Ecuaciones Integrales. La transformada de Laplace de $f(t)$ se define como: $L\{f(t)\} = \int_0^{+\infty} e^{-st} f(t) dt$

Transformada Z. En las matemáticas y procesamiento de señales, la Transformada Z convierte una señal que esté definida en el dominio del tiempo discreto (que es una secuencia de números reales) en una representación en el dominio de la frecuencia compleja. La transformada Z se define por: $Z = e^{sT}$

Transistores. El transistor es un dispositivo electrónico semiconductor que cumple funciones de amplificador, oscilador, conmutador o rectificador. El término "transistor" es la contracción en inglés de *transfer resistor* ("resistencia de transferencia").

Triac. Un TRIAC ó Tríodo para Corriente Alterna es un dispositivo semiconductor, de la familia de los transistores. La diferencia con un tiristor convencional es que éste es unidireccional y el TRIAC es bidireccional. De forma coloquial podría decirse que el TRIAC es un interruptor capaz de conmutar la corriente alterna.

Valor RMS. A la raíz cuadrada del valor cuadrático medio (en inglés *root mean square*, abreviado RMS o rms), de una corriente variable se le denomina valor eficaz y se define como el valor de una corriente rigurosamente constante (corriente continua) que al circular por una determinada resistencia óhmica pura produce los mismos efectos caloríficos (igual potencia disipada) que dicha corriente variable (corriente alterna).

Voltaje. El voltaje, tensión o diferencia de potencial es la presión que ejerce una fuente de suministro de energía eléctrica o fuerza electromotriz (FEM) sobre las cargas eléctricas o electrones en un circuito eléctrico cerrado, para que se establezca el flujo de una corriente eléctrica.

BIBLIOGRAFIA:

Circuitos Microelectrónicos análisis y diseño,

Autor: Muhammad H. Rashid, Ed.: International Thomson, 1999.

Electrónica de Potencia,

Autor: Muhammad H. Ed.: Rashid, Pearson, 2004

Diseño de Sistemas Digitales y Microprocesadores,

Autor: Jhon P. Hayes, Ed.: McGraw Hill, 1988.

Microcontroladores PIC,

Autor: Jose M. Angulo Usategui, Ed.: Mc Graw Hill, 1999

Dispositivos Electrónicos,

Autor: Antonio Herrera Mejía, Ed.: Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán, 1996

Ingeniería de Control Moderno,

Autor: Katsuiko Ogata, Ed.: Pearson, 1998

Electrónica de Potencia,

Autor: Noemí Giménez Redondo y Ana Pozo, Ed.: Universidad de Málaga, 2005

Todo sobre PIC'S,

Autor: Horacio D. Vallejo, Ed.: Quark, 2001

Circuitos Cmos,

Autor: R.M. Marston, Ed.: Paraninfo, 1997

Microcontroller Based Applied Digital Control

Autor: Dogan Ibrahim, Ed.: John Wiley an Sons,Ltd.2006

Potncia Electrica y de Potencia

Autor: M.F.G.Gwyther, Ed.: Alfaomega 1997